

Departement für Pferde, Klinik für Pferdechirurgie  
der Vetsuisse Fakultät Universität Zürich

Direktor: Prof. Dr. med. vet. Anton Fürst

Arbeit unter wissenschaftlicher Betreuung von  
Dr. med. vet. Michelle Jackson und Prof. em. Dr. med. vet. Hans Geyer

## **Mikroskopische Untersuchung der Pferde Zähne und ihrer Umgebung**

### **Inaugural-Dissertation**

zur Erlangung der Doktorwürde  
der Vetsuisse-Fakultät Universität Zürich

vorgelegt von

**Eliana Zoller**

Tierärztin  
von Glarus Süd

genehmigt auf Antrag von  
Prof. Dr. med. vet. Anton Fürst, Referent  
Prof. em. Dr. med. vet. Hans Geyer, Korreferent

**2020**



Meiner Familie und meinen Freunden





## Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung.....	6
2. Summary.....	7
3. Einleitung und Ziel der Arbeit .....	8
4. Literaturübersicht .....	9
5. Material und Methoden.....	11
6. Makroskopische Anatomie auf Basis der Literatur mit Hinweisen zur Histologie .....	14
7. Resultate .....	24
7.1. Befunde vom 5-jährigen Pferd nach dem Zahnwechsel.....	24
7.1.1. Schneidezähne von Unter- und Oberkiefer .....	24
7.1.2. Backenzähne des Oberkiefers .....	34
7.1.3. Backenzähne des Unterkiefers.....	42
7.2. Befunde vom 2-jährigen Pferd vor dem Zahnwechsel .....	43
7.2.1. Schneidezähne von Unter- und Oberkiefer .....	44
7.2.2. Backenzähne des Oberkiefers .....	51
7.2.3. Backenzähne des Unterkiefers.....	54
7.3. Befunde vom 13-jährigen Pferd am Ende des Längenwachstums der Zähne .....	66
7.3.1. Schneidezähne von Unterkiefer und Oberkiefer .....	66
7.3.2. Backenzähne von Unterkiefer und Oberkiefer .....	66
7.4. Pathologische Veränderung an einem Schneidezahn .....	76
8. Diskussion.....	78
8.1. Material und Methoden .....	78
8.2. Resultate.....	80
8.3. Konklusion .....	85
9. Literaturverzeichnis .....	86
Danksagung	
Curriculum vitae	

## 1. Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit stellt gesunde Zähne in ihrer physiologischen Umgebung an drei Pferden im Alter von 2, 5 und 13 Jahren in mikroskopischen Schnittserien dar. Die *in situ* fixierten Zähne wurden als Grosspräparate ausgesägt und unentkalkt in Methylmethacrylat eingebettet. Von ausgewählten Zähnen wurden Schnittserien anhand der Hartschnitttechnik mit einer Mikrotomfräse erstellt.

Die Pulpahöhle mit ihren Hörnern sowie die Zahnsubstanzen Dentin, Schmelz und Zement und die sie bildenden Zellen konnten bis ins Detail gezeigt werden. Beim zweijährigen Pferd liessen sich nebeneinander die Ersatzzahnanlagen und die im Abbau befindlichen Milchzähne dokumentieren. Die Schmelzbecher der Schneide- und Backenzähne waren bei allen Ersatzzähnen unterschiedlich intensiv mit Zement gefüllt und zeigten teilweise Verfärbung und Abbau des Zementes. Das um 500 µm dünne Periodontium enthielt nebst den schräg verlaufenden Fasern zur Verankerung der Zähne vorwiegend auch zirkulär verlaufende Fasern. Der den Zähnen unmittelbar anliegende Knochen der Kiefer war durch meist sehr dünne, nur um 200 µm starke Knochenbälkchen gekennzeichnet. Eine Lamina dura als verdichtete Knochensubstanz konnte angrenzend an die Backenzähne in der Regel nicht nachgewiesen werden.

Die mikroskopische Darstellung der Zähne in ihrer natürlichen Umgebung bis zur Kieferhöhle und den zu den Zähnen ziehenden Nerven kann als Grundlage zur Beurteilung der Zähne und ihrer Erkrankungen dienen.

## 2. Summary

The present study provides serial histological images of healthy equine teeth including normal periodontal tissue and adjacent bone structures. The teeth were obtained from three horses that were euthanised at 2, 5 and 13 years of age for reasons not related to dental disorders. The teeth were fixed *in situ*, removed from the skull using a band saw and embedded without decalcification in methyl methacrylate. Serial sections were cut from selected teeth using a microtome-milling machine.

The central pulp chamber and pulp horns, dentine, enamel and cementum and the odontoblasts could be identified in detail. In the 2-year-old horse, permanent teeth and deciduous teeth undergoing degradation could be imaged side by side. The amount of cementum varied in the infundibula of permanent incisors and cheek teeth, and there were areas of discolouration and decomposition of the cementum. The periodontium was thin (500 µm) and contained oblique fibres involved in anchoring of teeth as well as circular fibres. The jawbone directly adjacent to the permanent teeth was characterised by thin (200 µm) bone trabeculae. A lamina dura as dense bone substance could not be proven.

The histological description and depiction of equine teeth in their normal anatomical setting including maxillary sinus and innervation provides a basis for the assessment of normal and diseased teeth.

### **3. Einleitung und Ziel der Arbeit**

Die klinische Bedeutung der Zähne des Pferdes hat in den letzten Jahren stets zugenommen. Zur Diagnostik der Zahnveränderungen braucht es sehr häufig die bildgebenden Verfahren wie das Röntgen und heute besonders die Computertomografie.

Die radiologischen Bilder stellen die Zähne in ihrer natürlichen Umgebung dar. Die richtige Bewertung und allfällige Überlagerungen der zahlreichen Anteile der Zähne selbst und des umgebenden Kiefers bereiten häufig Schwierigkeiten. Anliegend an die Zähne wird oftmals eine Lamina dura als dichte Schicht des umgebenden Knochens beschrieben.

Es sollten an ausgewählten Beispielen einerseits die verschiedenen Zahnschmelzsubstanzen, Schmelzfalten und Schmelzbecher, sowie die umgebenden Knochen dargestellt werden. Die Frage nach dem Vorhandensein einer Lamina dura war ebenfalls Anlass der mikroskopischen Untersuchung.

Das Ziel der Arbeit war es, anhand von Pferden aus drei Altersstufen, an *in situ* fixierten Köpfen und unentkalkten Präparaten, die mikroskopischen Strukturen der Zähne und ihrer physiologischen Umgebung an definierten Stellen aufzuzeigen.

#### 4. Literaturübersicht

Als Grundlage für die eigenen Befunde werden in diesem Kapitel die wichtigsten anatomischen und histologischen Fakten von ausgewählter Literatur vorgestellt.

Vergleicht man heute die Literatur in der Pferde Zahnmedizin, so findet man sehr viele Publikationen über die Anwendung von Zahnbehandlungen per se und über einzelne Strukturen der Zähne und deren Pathologien. Zur Anatomie der Zähne und ihren histologischen Strukturen samt ihrer Umgebung sind oft noch erhebliche Lücken vorhanden. Daher ist es das vorher schon genannte Ziel der vorliegenden Arbeit, die Morphologie der Pferde zähne mit ihrer natürlichen Umgebung makroskopisch und mikroskopisch darzustellen.

Ellenberger und Baum (1943) schreiben im «Handbuch der vergleichenden Anatomie der Haustiere» detailliert über die Anatomie und Embryologie der Zähne. Etwa zur gleichen Zeit weist Becker (1945) kurz nach Stabsveterinär Wulf (1939) auf die Notwendigkeit der regelmässigen Zahnpflege hin und betreibt zur Prophylaxe und Therapie des Gebisses der Pferde bereits eine mobile Zahnstation. Nach dem zweiten Weltkrieg verliert die Pferde Zahnmedizin an Beachtung.

Habermehl (1987) beschreibt in den Kapiteln „Mundhöhle und Zähne“ des Lehrbuchs von Nickel, Schummer und Seiferle Band II die makroskopische Anatomie der Zähne der verschiedenen Haustierarten und geht dabei sehr ausführlich auf das Gebiss der Pferde ein. Im Textbuch „Altersbestimmung der Haus- und Labortiere“ bespricht er (Habermehl, 1975) nach den anatomischen Grundlagen des Gebisses sehr intensiv die Altersbestimmung beim Pferd. Die deutschsprachigen Lehrbücher von König und Liebich (2019) sowie von Salomon, Geyer und Gille (2015) enthalten jeweils grosse Kapitel zur Anatomie der Zähne, wobei von Salomon erste Bilder aus der vorliegenden Arbeit schon im Lehrbuch aufgenommen wurden.

Baker und Easley (2007) sowie Easley et al. (2010) geben im Buch „Equine Dentistry“ eine übersichtliche Einführung in die Embryologie und Anatomie. Soana et al. (1999) studieren die Bildung der Zahnanlagen von verschiedenen alten Föten (in Tagen). Es zeigt sich jedoch sonst, dass die Entwicklung der Zahnanlagen beim Pferd wenig erforscht ist und die meisten Ergebnisse aus der Humanmedizin übertragen sind.

Zur Histologie und Embryologie der Zähne des Menschen erscheint von Orban (1944) eine erste Auflage des Lehrbuchs «Oral Histology and Embryology». Mehrere Autoren bearbeiten diese Kapitel, zuletzt Kumar (2015). Cate (1980) geht in «Ten Cate's Oral Histology» ebenfalls auf die Histologie der Mundhöhle und der Zähne ein, die neueste Version wurde von Nanci (2018) verfasst.

Zur Entwicklung der Zähne bei Haustieren schreiben Zietschmann und Krölling (1955), Michel (1977), sowie Rüsse und Sinowatz (1991). In neuerer Zeit beschäftigen sich Schnorr und Kressin (2006) sowie Kressin und Brehm (2019) mit dem Thema.

In den Siebziger Jahren befasst sich Baker mit Zahnerkrankungen und der radiologischen Bildgebung von Zähnen der Pferde. Des Weiteren schreibt er viele Kapitel für verschiedene Bücher, wie z.B. für das «Equine Dentistry» (2007).

Eine weitere wichtige Person in der Literatur der Pferde Zahnmedizin ist Dixon. Er ist Autor und Co-Autor von vielen Publikationen. Zusammen mit Kilic et al. (1997a,b,c,d) untersucht er mit dem Lichtmikroskop und dem Transmissionselektronenmikroskop die verschiedenen Strukturen des unbehandelten und entkalkten Zahnes. Er veröffentlicht Langzeitstudien mit hohen Fallzahlen (1999a,b, 2000a,b). Zusammen

mit Dacre führt er mehrere Studien zu gezielten Pathologien durch. Dacre (2006) und Dacre et al. (2007b, 2008) erheben zudem histologische und ultrastrukturelle Befunde, immer mit dem Ziel, deren einzelne Pathologien zu verstehen.

Liuti et al. (2017, 2018a,b) publizieren einige Arbeiten über computertomografische und radiologische Vergleiche der Strukturen an erkrankten Zähnen.

Mit einem weiteren wichtigen Thema - der Altersbestimmung des Pferdes – befassen sich Muylle et al. (1996, 1997a,b,c,d, 1999). Dafür beschäftigen sie sich mit den verschiedenen Charakteristiken und Strukturmerkmalen an den Schneidezähnen intensiv und erforschen und erklären auch in verschiedenen Rassen die unterschiedlichen Merkmale. Als Grundlage dient das Dentin in den Schneidezähnen, welches sie hauptsächlich elektronenmikroskopisch, aber auch lichtmikroskopisch erforschen und darstellen. Auch weitere Autoren setzen sich intensiv mit der Altersbestimmung des Pferdes auseinander. Vor allem im Pferdehandel gilt dies als wichtiges Thema.

Auch Staszyk und Simhofer als sehr aktuelle und viel publizierende Autoren sollen genannt werden. Staszyk et al. (2005, 2006, 2015) setzen sich neben der Odontologie auch stark mit der Parodontologie auseinander. Sie stellen die komplette Anatomie und Physiologie des Periodontium dar und machen biomechanische Analysen zur Kaukraftwirkung. Zusammen mit Dixon erforscht und erklärt er den Kauvorgang (2013). Neben den vielen Publikationen als Erstautor ist er auch in zahlreichen, wichtigen Studien Co-Autor. Simhofer studiert mit Staszyk (2008) das Thema der EOTRH (Equine Odontoclastic and Tooth Resorption and Hypercementosis) und widmet sich sonst den endodontischen, endoskopischen und chirurgischen Zahn- und Sinusbehandlungen mit hohen Fallzahlen. Mit der Behandlung und der Prognose der EOTRH befassen sich auch Lorello et al. (2016).

Im Jahre 2010 bringen Grell und Maleh den Atlas zur Pferde Zahnheilkunde auf den Markt. Danach erscheint das «Lehrbuch der Pferde Zahnheilkunde» von Vogt (2011). Zusammen mit renommierten Autoren schreibt er im Detail über die Behandlung der Pferde Zähne mit den Grundlagen, die dafür nötig sind.

Zur Problematik der Karies erschienen vor Kurzem von Borkent et al. (2020a,b) zwei Arbeiten, die sich mit den mikroskopischen Veränderungen und den die Karies verursachenden Keimen befassen.

Zum Schluss werden noch wenige Arbeiten genannt, welche für die vorliegende Arbeit ebenfalls von Bedeutung sind.

Windley et al. (2009a,b) stellen die Anatomie und Pathologie ausgewählter Zahnstrukturen computertomografisch zwei- und dreidimensional dar. Ebenfalls mit Pathologien der Zähne und Untersuchungstechniken befassen sich die Arbeiten von Pollaris und Vlaminck (2015) und Pollaris et al. (2016).

Auf die Beiträge von Masset et al. (2006a,b), die sich mit dem Blutgefäßsystem im Periodontium befassen, sowie die Arbeit von Fitzgibbon et al. (2010), die auf die physiologischen Strukturen in den Infundibula der Backenzähne eingehen, sei noch besonders hingewiesen.

## 5. Material und Methoden

Für die vorliegende Arbeit wurden drei Pferde aus verschiedenen Altersklassen gewählt. Die Veränderungen der Zähne und der umliegenden Strukturen mit zunehmendem Alter sollten erkannt und aufgezeigt werden.

Der Grund der Euthanasie der drei Pferde war unterschiedlich. Das Gemeinsame der Pferde war, dass sie zum Zeitpunkt des Todes keine bekannten Veränderungen oder Erkrankungen des Gebisses aufwiesen.

Details zu den Pferden:

Pferd 1) 5-jährig, Warmblut, euthanasiert wegen einer Strikture im Fesselbereich an der Vordergliedmasse

Pferd 2) 2-jährig, Warmblut, euthanasiert wegen hämatogener Gelenksinfektion

Pferd 3) 13-jährig, Warmblut, euthanasiert wegen Podotrochlose

### *Fixation der Präparate*

Nach dem Euthanasieren wurde der Kopf mit zwei Dritteln des Halses abgesetzt, eine Drahtschlinge durch ein vorgebohrtes Loch am vierten Halswirbel gezogen und mit der Nasenspitze nach unten aufgehängt. Nach Präparation der beiden Aa. carotis communis wurde eine Knopfkanüle eingebunden und beide Seiten mit zwei Litern 0.9%igem NaCl mit 20'000 i.E. Heparin pro Liter im schnellen Tropf aus 1.5 m Höhe gespült. Anschliessend wurden beide Seiten im langsamen Dauertropf mit 1.5 bis 2 Litern Fixationslösung aus 2.5%igem Glutaraldehyd und 1.3%igem Formaldehyd über 4 Stunden perfundiert. An der festen Konsistenz des Gewebes zeigte sich, dass der Kopf gut fixiert war.

Nach Einwirken der Fixationslösung während drei Tagen wurden in jede A. carotis communis mit einer Spritze und mässigem Druck weitere 500 ml der Fixationslösung injiziert. Danach wurde der Kopf 24 Stunden bei vier Grad gekühlt. Anschliessend wurden die Präparate mit einer Fleischbandsäge zugesägt. Einzelne Zähne und Gebissabschnitte wurden sorgfältig ausgewählt und dann für mindestens eine Woche in eine Fixationslösung von 2.5% Glutaraldehyd und 1.3% Formaldehyd eingelegt.

Der Rest der Gebisse wurde jeweils in eine 2%ige Formalinlösung eingelegt und aufbewahrt.

Vor der Einbettung der Proben in Methylmethacrylat wurde jeweils eine Seite der Zahnreihe für Querschnitte und die andere Seite für Längsschnitte ausgewählt.

### *Herstellung der Methylmethacrylat (MMA)-Blöcke*

Zur Einbettung des Knochens und den anderen kalzifizierten Geweben samt ihren Weichteilen wurde Methylmethacrylat verwendet.

Die Gewebeblöcke wurden nach der Fixation zwei Stunden unter fliessendem Wasser gewässert und dann in einer aufsteigenden Alkoholreihe dehydratisiert (Tab. 1).

Tabelle 1: Dehydratation und Infiltration der Gewebeblöcke

Dehydratation	Alkoholreihe: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3x in 50% Ethanol</li> <li>• 2x in 70% Ethanol</li> <li>• 2x in 80% Ethanol</li> <li>• 1x in 90% Ethanol</li> <li>• 1x in 96% Ethanol</li> <li>• 4x in 100% Ethanol</li> </ul>	Die Lösungen wurden alle 2-3 Tage erneuert; dies führte zu einer Gesamtdauer der Dehydratation von ca. 6-8 Wochen.
Entfettung	Xylol als Intermedium	7-10 Tage unter Vakuum
Infiltration	MMA: 900ml Methylmethacrylat 100ml Dibutylphthalat (als Weichmacher) 5g Perkadox (als Starter)	7 Tage unter Vakuum, danach ohne Vakuum für 6-8 Wochen im Kühlschrank bei 4° Celsius.

Die Präparate wurden anschliessend an die Entfettung mit Xylol unter Vakuum für weitere 7 Tage in die Infiltrationslösung bei vier Grad Celsius in den Kühlschrank gelegt. Im Verlauf von sechs bis acht Wochen ohne Vakuum polymerisierte das Methylmethacrylat allmählich. Die Kühlschranktemperatur wurde beibehalten, um eine zu schnelle Polymerisation zu vermeiden, welche zu starker Hitzeentwicklung mit Gasblasen geführt hätte. Die produzierten Blöcke hatten etwa eine Grösse von 6 x 6 x 10 cm.

### *Sägen*

Die gewonnenen Probenblöcke wurden mit Cyanacrylat (Cementit CA 12, Merz und Benteli, CH 3172 Niederwangen) auf einen Rest-MMA- Block geklebt, der in die Säge gespannt wurde und den Probenblock so starr fixierte. Die in MMA eingebetteten Zähne wurden auf der Bandsäge mit einem Diamant-beschichteten Sägeblatt in stufenweisen Schritten im Abstand von 2 mm in Längs- und Querschnittserien zerlegt. Nach Abzug des Verlustes durch das Sägeblatt ergaben sich dabei Schnittblättchen von 1.3 mm Dicke.

### *Kleben und Fräsen*

Die Schnitte wurden mit Cementit CA 12 auf Acrylglas-Platten (Perspex GS) aufgeklebt und daraufhin mit der Mikrotomfräse (Leica SP 2600) auf eine Dicke von 300-500 µm gefräst.

Die ersten ca. 800 µm wurden mit einem Vorfräser in Schritten von 10 µm, einer Geschwindigkeit von 2700 Umdrehungen pro Minute und mit einem Vorlauf von 1.5 mm pro Sekunde abgetragen. Danach folgte der Fertigfräser in kleineren Schritten von 20x 5 µm, 5x 3, 5x 2 und 5x 1 µm. Der Fertigfräser arbeitete bei reduzierter Geschwindigkeit und reduziertem Vorlauf bis das Präparat eine Dicke um 500 µm betrug.



### *Polieren*

Die anschliessende Hochglanzpolitur wurde mit einer Polierscheibe und Schleifflüssigkeiten mit Partikeln von 3 µm und 1 µm jeweils eine Minute lang durchgeführt.

### *Schnittserien und Schnittrichtungen*

Die Schnittserien der Schneidezähne lagen als Längs- und Querschnitte abwechselnd auf der linken und auf der rechten Seite der Kiefer. Bei den Backenzähnen wurden in der Regel die Zähne der linken Seite in Längsschnitte und die der rechten Seite in Querschnitte zerlegt.

### *Färbungen*

Aus den Schnittserien wurden zahlreiche ausgewählte Präparate gefärbt. Die restlichen Präparate wurden nur ungefärbt beurteilt. Die meisten Präparate wurden nach Giemsa gefärbt. Bei der **Giemsafärbung** waren die einzelnen Substanzen und Strukturen der Zähne gut anzusprechen. Das Dentin färbte sich blauviolett an, der Zement war in einem dunkleren Blau gefärbt, wobei die Knochenzellen (Zementozyten) deutlich sichtbar werden. Der kompakte Schmelz bleibt weitgehend hell. Die Querschnitte blieben während 2-5 und die Längsschnitte während 20-30 Minuten in der Färbelösung. Bei weiteren Präparaten der Schnittserien wurden noch andere Färbungen eingesetzt.

Um die periodontalen Bindegewebsfasern besser darstellen zu können wurde die Toluidin-Blau-Färbung angewendet. Die Färbedauer lag bei 40-45 Minuten.

Die in der Histologie am häufigsten angewendete Färbung ist die Hämatoxylin-Eosin-Färbung. Dabei färben sich das Bindegewebe rot und die Zellkerne blau an. Die Präparate bleiben 15 Minuten in der Hämalaun- und 20 Minuten in der Eosinlösung. Histologisch ist das Gewebe mit dieser Färbung schwieriger als mit Giemsa zu differenzieren, daher wurde sie selten angewendet.

Zuletzt wurden noch einige wenige Präparate nach van Kossa gefärbt. Diese Färbung diente spezifisch dem Phosphatnachweis und zeigte die Mineralisationsstadien in den verschiedenen Zahnsubstanzen.

### *Histologische Auswertung*

Die Präparate wurden mithilfe eines Stereomikroskopes (Leica MZ 16) und eines Lichtmikroskopes (Leica DM LB 2) ausgewertet.

Die histologischen Befunde wurden auf einem Erhebungsbogen dokumentiert. Dabei wurden die verschiedenen Zahnsubstanzen und deren umgebende Strukturen in verschiedenen Ebenen (koronal, Mitte und apikal) tabellarisch beurteilt. Alle Schnitte wurden mehrmals durchgescannt, beschrieben und auf spezifische Merkmale untersucht. Ein besonderes Augenmerk wurde auf die Produktionszellen der Zahnsubstanzen (-Blasten) gelegt. Besonderheiten der Strukturen sowie der Inhalt der Schmelzbecher- und Schmelzfalten wurden erfasst. Der Aufbau und die Weite des Periodontium und der anliegenden Knochenbälkchen wurden beschrieben und gemessen.

## 6. Makroskopische Anatomie auf Basis der Literatur mit Hinweisen zur Histologie

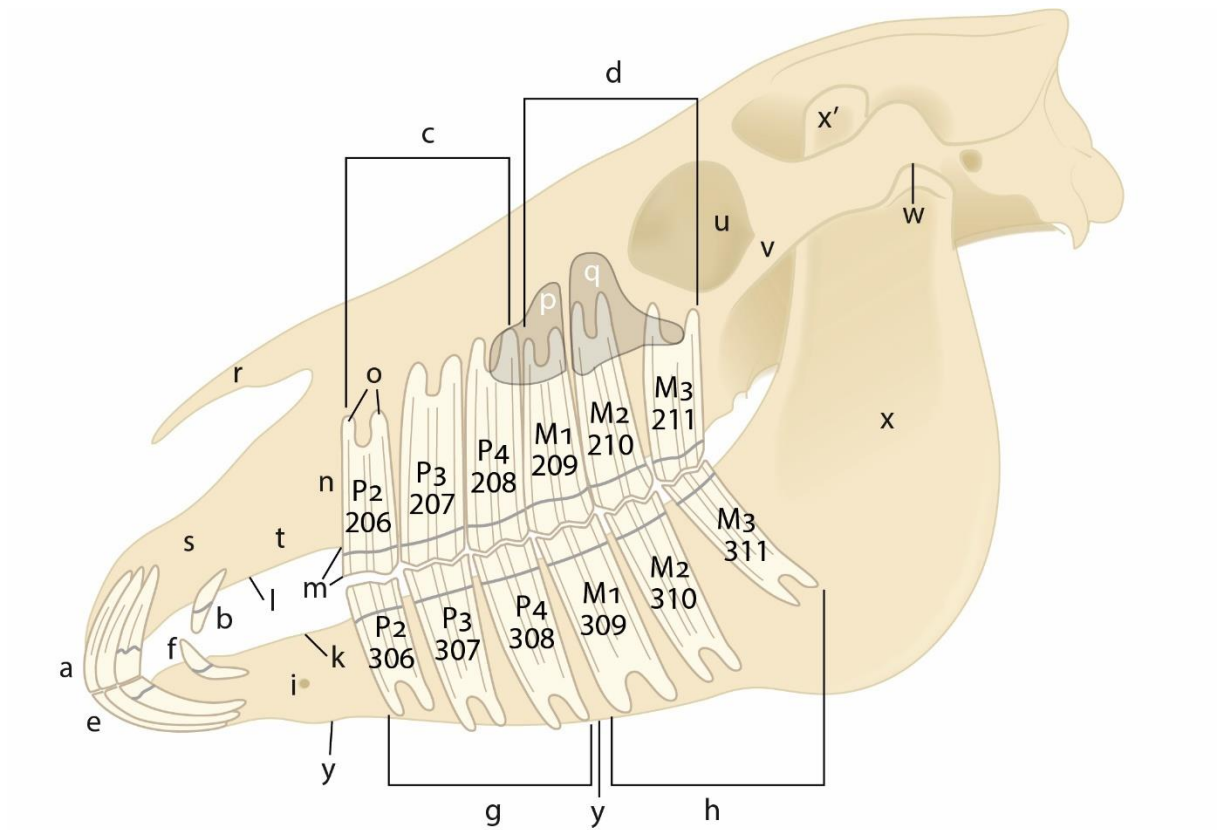
Dieser Abschnitt beschreibt die anatomischen Grundlagen zum Verständnis der Resultate.

Sie beziehen sich in diesem Kapitel vor allem auf die Arbeiten von Habermehl (1975), Kilic et al. (1997a,b,c,d), Baker and Easley (2005), Dixon (2007a), Easley et al. (2011), Staszyk (2011), Staszyk et al. (2005a,b, 2015), Vogt (2011), Geyer (2013) und Salomon et al. (2015). Die anatomischen Bezeichnungen richten sich nach den «Nomina Anatomica Veterinaria» (Constantinescu und Schaller, 2018).

Die Zähne des Pferdes sind sehr stark an eine effiziente Zerkleinerung silikatreicher und somit stark abrasiv wirkender Gräser angepasst (Vogt, 2011). In der Zeit zwischen 20 und 10 Millionen Jahren vor unserer Zeitmessung hat sich das Pferd vom Wald- und Wiesentier zum Steppentier entwickelt (Müller, 1984). In dieser Zeit entsteht der besonders lange Springfuss und gleichzeitig das Gebiss mit langen, hohen Zähnen. Der lange Springfuss erlaubt eine rasche Fortbewegung in der Steppe. Die langen, schmelzhaltigen Zähne ermöglichen eine effiziente Verwertung der harten Steppengräser. Die Pferde Zähne sind **hypsodont**, das heisst: sie sind sehr lang und zeigen zunächst noch ein begrenztes Wachstum.

Der **allgemeine Aufbau und die Befestigung der Zähne** wird in der Arbeit an den einfach aufgebauten, haplodonten Schneidezähnen des Pferdes beschrieben (Abb. 1-5). Die **Krone** des Zahnes, Corona dentis, ist der Teil, der ausserhalb des Zahnfaches liegt. Der **Zahnkörper**, Corpus dentis, ist der lange schmelzhaltige Teil des Zahnes, der ausserhalb und innerhalb des Zahnfaches liegt. Der im Zahnfach liegende Teil des Zahnkörpers wird von Staszyk (2011) und Dixon (2007) als **Reservekrone** bezeichnet. Die **Wurzel** des Zahnes, Radix dentis, ist der enger werdende, schmelzfreie Spitzenteil des Zahnes. An der Wurzel umgeben nur noch die Hartsubstanzen Zement und Dentin den Wurzelkanal, Canalis apicis, nach dessen starker Verengung das Längenwachstum des Zahnes endet. Im Unterschied zur anatomischen Definition meint der klinische Begriff «Radix clinica» den Gesamten im Zahnfach, der Alveole, liegenden Teil des Zahnes, das heisst den intraalveolären Teil des Zahnkörpers sowie die Wurzel.

**Im Inneren des Zahnes** findet man die **Pulpahöhle**, das Cavum dentis (Abb.4-5). Dieses ist mit lockerem Bindegewebe ausgefüllt und enthält Gefässe und Nerven. Die äussersten Zellen der Pulpahöhle sind zu zylindrischen Zellen, den **Odontoblasten**, differenziert. Sie produzieren gegen aussen zunächst das Prädentin, das zum faserhaltigen Zahnbein, dem **Dentin**, ausreift (Abb. 14). Die Odontoblasten ziehen sich jeweils unter die Hartsubstanzen zurück. Sie mauern sich nicht wie die Zementoblasten ein. So kann zeitlebens Dentin nachgebildet werden. Das Dentin ist in Form von Dentinröhrchen ausgebildet, in deren Innern man noch Fasern findet. Das Dentin ist mässig hart und von gelblicher Farbe. Da Dentin noch ca. 30% organische Substanz enthält (inklusive 10% Wasser), bleibt die Substanz auch im entkalkten Gewebe noch erhalten (Easley et al. 2010).



**Abb. 1:** Schädel und Gebiss eines 10-jährigen Pferdes (Wallach) mit Darstellung der Zahnfächer und Verlauf der Längsachsen der Zähne. Ansicht von links.

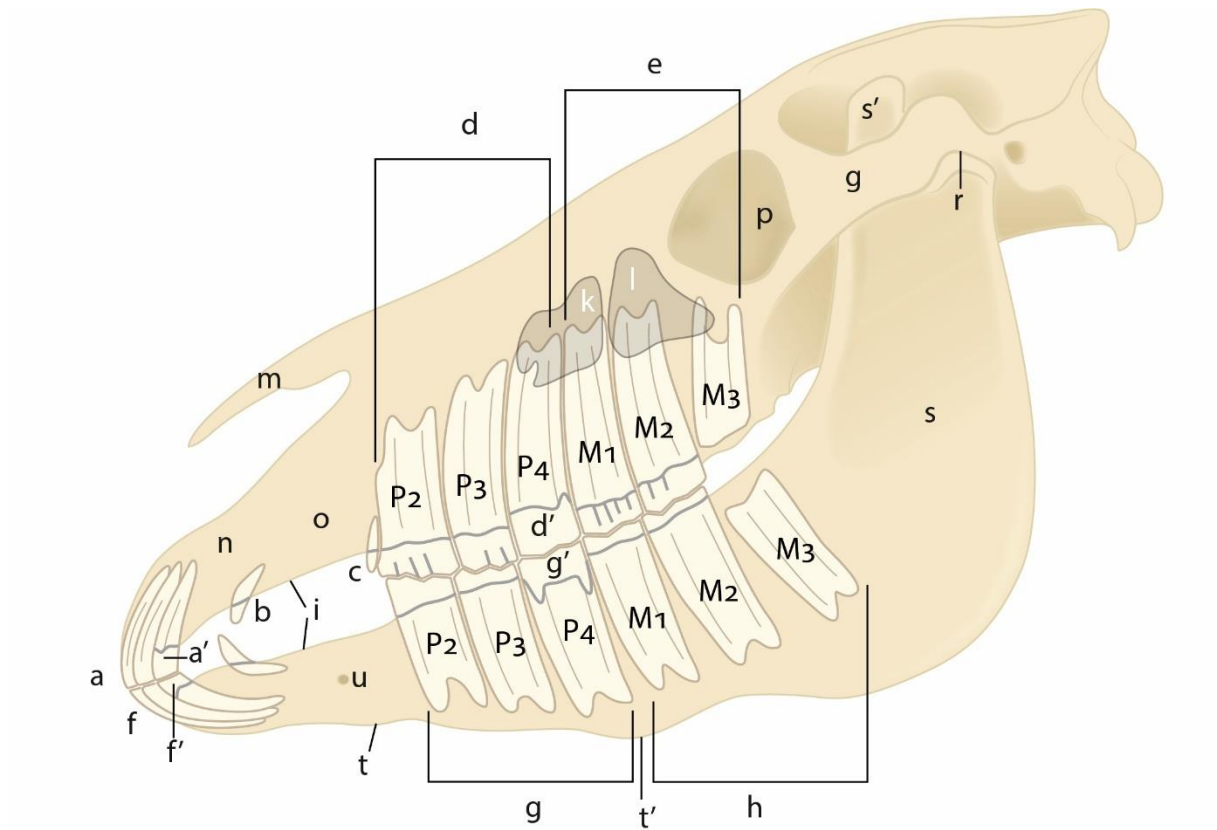
a Schneidezähne, Incisivi des linken Oberkiefers, I1 (201, medial), I2 (202), I3 (203, lateral); b Eckzahn, Caninus des linken Oberkiefers (C, 204); c Prämolaren des linken Oberkiefers (P2-P4, 206-208); d Molaren des linken Oberkiefers (M1-M3, 209-211).

e Incisivi des linken Unterkiefers I1 (301, medial), I2 (302), I3 (303, lateral); f Caninus des linken Unterkiefers (C, 304); g Prämolaren des linken Unterkiefers (P2-P4, 306-308); h Molaren des linken Unterkiefers (M1-M3, 309-311).

i Foramen mentale; k-l zahnfreier Rand, Margo interalveolaris (= Lade): k des Unterkiefers, l des Oberkiefers; beachte kaudal von k und l den Alveolenrand, Margo alveolaris (graue Linie).

m-o, nur am P2 superior bezeichnet: m Krone; m-n Zahnkörper, n sein intraalveolärer Teil; o Zahnwurzel; p-q Kieferhöhle, Sinus maxillaris: p rostraler Teil, q kaudaler Teil.

r Os nasale; s Os incisivum; t Maxilla; u Orbita; v Jochbogen; w Kiefergelenk; x Unterkieferast, x' sein Processus coronoideus; y Kehlrand = Margo ventralis des Unterkieferkörpers.



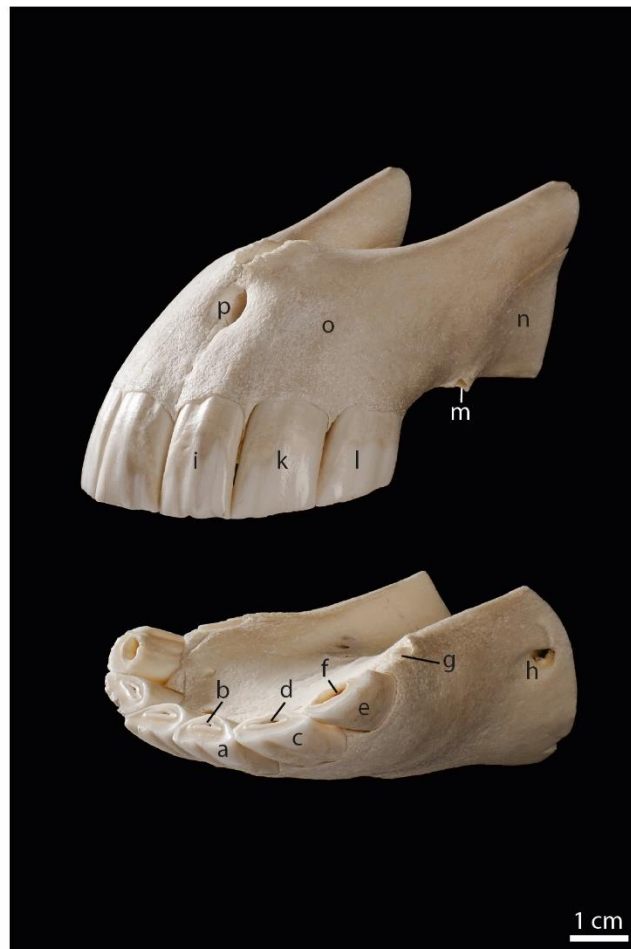
**Abb. 2:** Schädel einer 3 ½ - jährigen Stute im Zahnwechsel mit Darstellung der Zahnfächer und der Längsachsen der Zähne. Ansicht auf die linke Seite.

a Incisivi des Oberkiefers, I1 (201) und I2 (202) schon gewechselt, a' Id3 ((603) vor Wechsel und darunter I3 (203); b kleiner Caninus (204) im Durchbruch; c Wolfszahn des Oberkiefers (205); d Prämolaren des Oberkiefers (P2-P4, 206-208), d' Kappe des Milchzahns Pd4 (608); e Molaren des Oberkiefers (M1-M3, 209-211), M3 noch nicht durchgebrochen.

f Incisivi des Unterkiefers I1 (301) und I2 (302) schon gewechselt; f' Id3 (703) vor Wechsel und darunter I3 (303); g Prämolaren des Unterkiefers (P2-P4, 306-308); g' Kappe des Milchzahns Pd4 (708); h Molaren des Unterkiefers (M1-M3, 309-311), M3 noch nicht durchgebrochen.

i zahnfreier Rand, Margo interalveolaris beider Kiefer, beachte weiter kaudal den Alveolenrand, Margo alveolaris (graue Linie); k-l Kieferhöhle, Sinus maxillaris: k rostraler Teil, l kaudaler Teil.

m Os nasale; n Os incisivum; o Maxilla; p Orbita; q Jochbogen; r Kiefergelenk; s Unterkieferast, s' sein Processus coronoideus; t Kehlrand, Margo ventralis des Unterkieferkörpers mit Vorwölbung = Knast (t') unter P4; u Foramen mentale.



**Abb. 3:** Schneidezahngebiss einer 5-jährigen Stute. Ansicht von links und oben auf den halbmondförmigen Zahnbogen des Unterkiefers und die querovalen Reibeflächen der Schneidezähne des Unterkiefers sowie auf die Labialflächen der Schneidezähne des Oberkiefers.

a-h am Unterkiefer: a-f Reibeflächen der Incisivi: a-b innerer Schneidezahn (I1, 301), b seine Kunde mit restlichem Hohlraum; c-d Mittelzahn (I2, 302), d seine Kunde mit Hohlraum; e-f Eckschneidezahn (I3, 303), f seine Kunde mit 5 mm tiefem Hohlraum; g Eckzahn, Caninus (C, 304); h Foramen mentale.

i-p am Oberkiefer: i-l Labialflächen der Kronen der Incisivi: i innerer Schneidezahn (I1, 201); k Mittelzahn (I2, 202); l Eckschneidezahn (I3, 203); m Zahnfach des Caninus (C, 204); n Maxilla; o Os incisivum; p Canalis interincisivus.

Der **Wurzelkanal** des noch wachsenden Zahnes ist weit. Durch die zunehmende Dentinbildung verengt sich der Kanal so stark, dass die Gefässversorgung nur noch für die Lebenserhaltung des Zahnes reicht. Ein Längenwachstum ist dabei nicht mehr möglich. Gegen die Reibefläche zu, im koronalen Teil des Zahnes, muss in der Pulpahöhle stets neues Dentin gebildet werden, damit durch den Abrieb des Zahnes diese nicht eröffnet wird. So wird kronenseitig von den Odontoblasten **Sekundärdentin** oder **Ersatzdentin** (Abb. 6, 17) gebildet, das gegen die Reibefläche den Wurzelkanal verschliesst. Das Sekundärdentin hat im Vergleich zum Dentin eine modifizierte, meist dunklere, leicht bräunliche Farbe. Es erscheint an gebleichten Zähnen oft heller.

Der **Schmelz**, das Enamelum, ist die härteste Zahnschubstanz und an seiner weissen Farbe gut zu erkennen. Die Druckfestigkeit des Schmelzes soll beim Menschen mit  $3000 \text{ N/mm}^2$  fünfmal höher sein als diejenige von Dentin mit  $600 \text{ N/mm}^2$  (Drenckhahn und Fleischhauer, 2008). Die grosse Härte des Schmelzes bringt aber auch die Gefahr mit sich, dass es besonders bei punktuell hohen Belastungen zu Rissen oder Brüchen kommen kann. Der Schmelz besteht fast ausschliesslich aus anorganischer Substanz (Calciumphosphat Hydroxylapatit). Wegen dieses hohen Anteils und des geringen Anteils organischer Substanz von nur um 2% wird der Schmelz beim Entkalken von histologischen Präparaten aufgelöst. Bei den langen Zähnen des Pferdes liegt der Gehalt an anorganischer Substanz im Schmelz nur bei 77-89% (Staszyk, 2011).

Der Schmelz ist in Form von Schmelzprismen angeordnet, unter denen Kilic et al. (1997b) drei Typen unterscheiden. Die Längsachsen der Prismen zeigen meist in Richtung Dentin und können zwischen sich Schmelzplatten enthalten. Nach Kilic et al. (1997b) und Dixon et al. (2007b) können sich lange Risse im Schmelz entlang der Schmelzprismen bilden, die jedoch an den Grenzen zum Dentin oder Zement enden. Der Schmelz ist an der Grenze zum Dentin fest damit verbunden, im Bereich einer Art Basalmembran, die früher als Lamina praeformativa bezeichnet wurde.

Der Schmelz wird jeweils von den **Enameloblasten** gebildet, den Zellen des inneren Schmelzepithels der Zahnglocke. Die von diesen Zellen abgesonderte Substanz erscheint als Vorstufe des Schmelzes, die früh schon verkalkt. Kronenseitig erkennt man danach den stark verkalkten Schmelz an seiner weissen Farbe. Nach dem Durchbruch des Zahnes kann an seiner ausserhalb des Zahnfaches gelegenen Krone kein Schmelz mehr nachgebildet werden. Schmelzdefekte können hier nicht mehr repariert werden.

Bei den langen (hypsodonten) Zähnen des Pferdes bleiben apikal noch über mehrere Jahre lebende Enameloblasten des inneren Schmelzepithels erhalten. Dadurch kann der Zahnkörper noch einige Zeit ein Längenwachstum zeigen, bis dann die Wurzelbildung aus Dentin und Zement einsetzt. Das gesamte Längenwachstum des Zahnes endet erst, wenn dessen Wurzelkanal stark eingeengt ist.

Der **Zement**, das Cementum, ist Knochensubstanz, die von den innersten Zellen der Wurzelhaut, dem Periodontium, gebildet wird. Der Geflechtknochen des Zementes ist porös und leicht gelblich. Er besteht aus zwei Dritteln anorganischer Substanz und einem Drittel organischer Substanz. Die innen am Periodontium liegenden zementbildenden Zellen werden **Zementoblasten** genannt und entsprechen den Osteoblasten. Der Zement wird von diesen Zellen produziert und oft schichtweise in Form von „Zementzonen“ abgelagert (Mitchell et al. 2003). Im mikroskopischen Bild sind die Zellkerne der Zementzellen sowie ihre Fortsätze oft noch gut zu erkennen.

Beim Pferd ist **der ganze Zahn** mitsamt seiner Krone **von Zement überzogen**. Daher erscheint die Oberfläche dieser Zähne beim Pferd gelblich und porös. An den Seitenflächen, besonders der Backenzähne, lagern sich häufig pflanzliche Farbstoffe ab, so dass diese oft dunkel erscheinen. Der Zementüberzug an der Kaufläche der Zähne wird beim Kauen zügig abgerieben. Er kann im Bereich der ausserhalb des Zahnfaches liegenden Krone, ähnlich wie der Schmelz, nicht mehr nachgebildet werden, da hier das umgebende Bindegewebe fehlt. Bei dem im Zahnfach liegenden Teil des Zahnkörpers und bei der Wurzel kann aber stets Zement neu gebildet oder umgebaut werden. Am Zahnkörper liegt der Zement aussen dem Schmelz an. An der eigentlichen Wurzel, deren Wand nur noch aus Dentin und Zement besteht, liegt der Zement aussen dem Dentin an. Die an den Schneidezähnen im Bereich der Krone am Ober- und Unterkiefer unterschiedlich tiefen Schmelzbecher sind innen jeweils mit Zement gefüllt.

Das **Zahnfleisch**, die Gingiva, ist eine kutane Schleimhaut, welche die Knochen der Kiefer umgibt und an deren orale Teile fest anhaftet. Die Gingiva umschliesst den Zahn manschettenförmig und setzt am Zement an der Basis der klinischen Krone an. Zirkulär um den Zahn bildet sich eine rinnenförmige Vertiefung, der Sulcus gingivae. Das gesunde, mehrschichtige Plattenepithel des Sulcus legt sich so dicht an den Zahn an, dass die tiefen Gewebeschichten und der Zahn selbst vor Futterpartikeln, Schmutz und Mikroorganismen geschützt sind. An der Grenze zwischen der Krone und dem im Zahnfach steckenden Teil des Zahnes geht die Lamina propria (bindegewebige Schicht des Zahnfleisches) in die Wurzelhaut, das Periodontium, über.

Das **Periodontium** (Abb. 4-5) ist eine schmale, faserreiche Bindegewebsschicht, die einerseits der Verankerung des Zahnes dient und andererseits zum Zahn hin Zement und zum Zahnfach hin Knochen bilden kann. Das Periodontium wird auch als Ligamentum periodontale bezeichnet (Wulff 2005). Zur Befestigung des Zahnes findet man straffe Bindegewebsfasern, die auch Sharpey Fasern genannt werden. Sie ziehen vom Knochen des Zahnfaches durch das Periodontium bis in den Zement hinein. Die in Richtung Wurzel ziehenden Fasern verhindern zusammen mit vielen zirkulär verlaufenden Fasern, dass der Zahn durch den Kaudruck nicht in die Tiefe des Zahnfaches sinkt. Das Periodontium ist relativ dünn und hat meist nur eine Breite von ca. 500-600 µm. Nebst der Verankerung des Zahnes erlaubt das Periodontium auch eine minimale Beweglichkeit des Zahnes im Zahnfach und das allmähliche Hochwachsen der Zähne in Richtung Krone. Um diese Funktionen zu erfüllen braucht es einen stetigen Auf- und Abbau, sowie eine gute Durchblutung des Gewebes.

Der **Zahnhalteapparat**, das Paradontium, besteht gesamthaft aus dem Periodontium, dem Knochen des Zahnfaches, der Alveole und dem aussen am Zahnkörper und an der Wurzel anliegenden Zement. Der Alveolarknochen wird auch als Geflechtknochen bezeichnet. Er enthält aber Röhrchenstrukturen und recht kompakte Bezirke. Viele Stellen des Oberkiefers wie auch des Unterkiefers zeigen sehr dünne Knochenbälkchen innen an den Alveolenwänden. Diese sind oft nur 200-300 µm dick. Die Anteile des Zahnhalteapparates gehen alle aus dem mesodermalen Zahnsäckchen hervor, das ausserhalb des Schmelzepithels der Zahnglocke anliegt.



Die **Schmelzbecher**, die Kunde oder das Infundibulum, und die **Schmelzfalten** sind ein typisches Merkmal der langen, hypsodonten Zähne des Pferdes. Durch die harten Ränder der Schmelzbecher sowie der Schmelzfalten wird der Reibeeffekt auf der Kaufläche erheblich verstärkt.

An den **Schneidezähnen** des Pferdes findet man nur einen **Schmelzbecher**. Er besteht aus einem **koronalen Anteil**, in dem ein Hohlraum von einem harten Schmelzrand umgeben ist. Der **Boden der Kunde**, auch als Kundenspur bezeichnet, ist meist länger als der koronale Anteil und am **Boden der Kunde ist der Innenteil mit Zement** gefüllt. Der umgebende Schmelzrand ist mit dem Daumennagel gut zu fühlen.

Die Schmelzbecher sind im Oberkiefer des Ersatzzahnes etwa doppelt so tief wie im Unterkiefer. Der Hohlraum der Kunden im Unterkiefer ist nur 6 mm tief; der Hohlraum der Ersatzzähne des Oberkiefers ist unregelmässig um 12 mm tief. Bei einem Abrieb um 2 mm pro Jahr sind die Kunden des Unterkiefers nach ca. drei Jahren ausgerieben. Der Boden der Kunde bleibt aber weiterhin für ca. 6-8 Jahre erhalten. Die Kunden der Milchzähne sind wenig tief und kurz vor dem Zahnwechsel ganz ausgerieben.

An den **Backenzähnen** des Pferdes findet man die **Schmelzbecher (zwei)** nur im **Oberkiefer**. Diese zwei Schmelzbecher findet man in der ganzen Länge des Zahnkörpers. Das apikale Ende bildet den Boden des Bechers in der Nähe der späteren Wurzel. Auf Querschnitten betrachtet zeigen die Schmelzbecher eine Ohrenform (Abb. 26-27), bei der die Enden oder Zipfel der Ohren gegen bukkal gerichtet sind. Die Schmelzbecher sind in ihrem Innern mit Zement gefüllt. Der Anteil des Zementes kann unterschiedlich hoch sein, weshalb zentral im Schmelzbecher entweder nur ein sehr kleiner Hohlraum oder auch grössere Lumina zu sehen sind.

Die **Schmelzfalten der Backenzähne** sind sowohl im Oberkiefer als auch im Unterkiefer bukkal nur wenig unter die Seitenfläche eingesenkt. Am Oberkiefer findet man palatinal an den Backenzähnen rostral oder mesial eine kleinere Falte und kaudal oder distal eine tiefe Falte. Diese tiefe Falte zieht charakteristisch schräg von kaudal und palatinal nach rostral und bukkal. Alle Schmelzfalten sind in ihrem «Innern» vollständig mit Zement gefüllt. Die Backenzähne des Unterkiefers haben palatinal zwei Falten, die auf der Reibefläche die Form eines T zeigen. Die rostrale oder mesiale Falte ist in der Regel kleiner im Vergleich zu der kaudalen oder distalen Falte. Bei allen Schmelzfalten sind auf der Reibefläche jeweils die harten Schmelzränder gut zu fühlen.

Bei der isognathen Stellung, d.h. in der Mittelposition des Unterkiefers, ohne Seitwärtsverschiebung, decken sich nur etwa ein Drittel der schräg von innen gegen aussen geneigten Kauflächen der Backenzähne des Ober- und des Unterkiefers. Auch ist der bogenförmige Verlauf der Kauflächen, gegen kaudal leicht ansteigend, zu beachten (Spee Kurve). Weiter verlaufen die Längsachsen der vorderen Backenzähne mehr vertikal, während diese gegen kaudal vermehrt schräg ausgerichtet sind. Im Oberkiefer verläuft die Längsachse der Backenzähne von dorsal und kaudal nach ventral und rostral. Im Unterkiefer zieht die Längsachse von kaudal und ventral nach rostral und dorsal (Abb. 1, 2).

Beim Pferd gibt es wie bei anderen Säugetieren zwei **Zahngenerationen**, das Milchzahngebiss und das Ersatzzahngebiss. Im **Milchzahngebiss** (Dezidualgebiss (d)) erscheinen die ersten Schneidezähne  $I_{d1}$  zur Zeit der Geburt, der  $I_{d2}$  mit ca. 6 Wochen, und der  $I_{d3}$  mit ca. 6 Monaten. Die Milchprämolaren  $P_{d2}$ - $P_{d4}$  sind in der Regel schon zur Zeit der Geburt durchgebrochen. Die Milchzähne sind kleiner und kürzer als die Ersatzzähne und erscheinen heller. Sie sind auch von einer Zementschicht überzogen, die aber dünner ist als die der Ersatzzähne.

Zwischen 2 ½ und 4 ½ Jahren erfolgt der **Zahnwechsel** bei den Schneidezähnen wie auch bei den Prämolaren zum **Ersatzzahngebiss**. Die Molaren, hintere Backenzähne, sind nur in einer Zahngeneration vorhanden. Sie brechen zu folgenden Zeiten durch: der  $M_1$  im Alter von 1 Jahr, der  $M_2$  mit 2 Jahren und der  $M_3$  mit 4 Jahren. Bei einem erwachsenen Pferd befinden sich nach erfolgtem Zahnwechsel zwischen 36 und 44 Zähne in der Maulhöhle.

Als **Durchbruch (Eruption)** bezeichnet man das Ausstossen der Zähne durch das Zahnfleisch. Danach folgt das Hochwachsen der Ersatzzähne bis zum In-Reibung-Treten der Kauflächen ungefähr für sechs Monate bis ein Jahr (Habermehl, 1975). Nach Habermehl (1975) kann die Längenzunahme der Zähne im Wurzelbereich bis zum Alter von ca. 15 Jahren dauern.

An den verschiedenen Zahnarten, insbesondere an den Schneidezähnen und an den Backenzähnen, unterscheidet man generell folgende Flächen (Staszyk, 2011):

1. die Reibe- oder Kaufläche, *Facies occlusalis*
2. die Berührungs- oder Kontaktfläche mit anderen Zähnen, *Facies contactus*, wobei 2 Flächen unterschieden werden:
  - a) die *Facies mesialis* = die Fläche zur Medianen bzw. zum ersten Schneidezahn, nach **rostral**, hin
  - b) die *Facies distalis* = der *Facies mesialis* gegenüberliegende Fläche, die sich **kaudal** befindet.
3. die Zungenfläche, *Facies lingualis*
4. die Lippen oder Backenfläche, *Facies labialis* oder *bukkalis*. Diese wird allgemein auch *Facies vestibularis* genannt, da sie den Vorhof der Mundhöhle begrenzt.

#### *Nummerierung oder Bezeichnung des Pferdegebisses nach Triadan (1972)*

Das Gebiss des Pferdes wird heute bevorzugt nach Triadan (1972) sowie Floyd (1991) bezeichnet bzw. nummeriert. Triadan (1972) entwickelte das System an der Universität Bern. Floyd (1991) modifizierte dieses. Nach Triadan wird das Gebiss des Pferdes in vier Quadranten unterteilt:

Mit der ersten Ziffer werden die Kieferquadranten durchnummeriert: 1= Oberkiefer rechts (im Milchzahngabiss =5), 2= Oberkiefer links (im Milchzahngabiss =6), 3= Unterkiefer links (im Milchzahngabiss =7), 4= Unterkiefer rechts (im Milchzahngabiss =8). Jeder Quadrant besteht aus drei Schneidezähnen (herkömmlich I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub>, I<sub>3</sub>), fakultativ einem Hengstzahn (herkömmlich C, Caninus), fakultativ einem Wolfszahn (herkömmlich P<sub>1</sub>), drei Prämolaren (herkömmlich P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>, P<sub>4</sub>) und drei Molaren (herkömmlich M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub>). Diese Art von Zahnidentifikation wird heute in klinischen Tätigkeiten sehr häufig angewendet und auch in Weiterbildungen als Standard eingesetzt. In der vorliegenden Arbeit wird von den anatomischen Definitionen ausgegangen: Schneidezähne = Incisivi (I), Eckzahn, Caninus (C), Wolfszahn (P<sub>1</sub>) und vordere und hintere Backenzähne = Prämolaren (P) und Molaren (M). Der Caninus, der bei Stuten selten durchbricht, wird auch als Hengstzahn bezeichnet. Der Wolfszahn wird auch Dens lupinus bzw. Lückenzahn genannt. Nach den anatomischen Begriffen werden in der Arbeit im Allgemeinen die Zahlen nach Triadan eingesetzt.

## 7. Resultate

Im Folgenden sollen die Normalstrukturen der Gebisse von einem 5-jährigen Pferd nach dem Zahnwechsel und dem Hochwachsen, von einem 2-jährigen Pferd vor dem Zahnwechsel und von einem 13-jährigen Pferd am Ende des Längenwachstums der Zähne dargestellt werden. Dabei interessieren besonders die in der Klinik häufig erkrankten Zähne (die Schneidezähne, der  $P_4$  und der  $M_1$ ). Es sollen entsprechend der Morphologie die Zähne und ihre Umgebung makroskopisch und mikroskopisch beschrieben und mit Bildern dokumentiert werden. In der Darstellung wird jeweils mit den einfach gebauten Schneidezähnen der Ober- und Unterkiefer begonnen. Anschliessend werden die Prämolaren und die Molaren des Oberkiefers und die Backenzähne des Unterkiefers dargestellt. Dabei zeigen manchmal die Längsschnitte oft nur Teilbereiche der langen, breiten Backenzähne. Häufig sind sie aber in ihrer ganzen Länge samt ihrer Umgebung sichtbar. An den Querschnitten sind in verschiedenen Stufen die unterschiedlichen Zahnschubstanzen, die Schmelzfalten und Schmelzbecher sowie die verschiedenen Hörner der Pulpahöhlen bzw. die Bereiche mit Sekundärdentin (Ersatzdentin) gut zu erkennen. Die beim 3. Prämolaren bis zum 2. Molaren in der Regel vorhandenen fünf Hörner der Pulpahöhlen beziehungsweise ihre zur Kaufläche folgenden Marken des Ersatzdentins werden nach den Angaben von Staszuk (2011) nummeriert (Abb. 26-27).

Die schon bei der Literaturübersicht erwähnten makroskopischen Darstellungen von Abb. 1 eines 10-jährigen Pferdes und Abb. 2 eines 3 ½-jährigen Pferdes zeigen sehr deutlich die Längsachsen der Zähne und ihrer Wurzeln sowie den von rostral gegen kaudal leicht gebogenen Verlauf der Kauflächen entsprechend der Spee-Kurve.

Abb. 3 zeigt die Form des Schneidezahnbogens und die querovale Reibeflächen mit den Kunden eines 5-jährigen Pferdes.

### 7.1. Befunde vom 5-jährigen Pferd nach dem Zahnwechsel

#### 7.1.1. Schneidezähne von Unter- und Oberkiefer

Zur Erkennung der Zahnschubstanzen der Schneidezähne und ihrer Einbettung in die Umgebung dienen zwei Längsschnitte des ersten Schneidezahnes des Ober- und des Unterkiefers (Abb. 4-5). Makroskopisch sind die Schneidezähne des Oberkiefers um 5-6 cm lang, haben eine Wurzel und sind gegen labial konvex gebogen. Die Incisivi des Unterkiefers sind kürzer, etwa 4-5 cm lang, auch mit einer Wurzel und sind etwas weniger stark gebogen.

Aufgrund der Krümmung der Schneidezähne und ihrer Verjüngung gegen apikal ist ein idealer Längsschnitt eines einzelnen Zahnes schwer möglich. Deswegen ist in Abb. 4 der  $I_1$  (201) nicht in der ganzen Länge getroffen. Wegen der Neigung der apikalen Teile der seitlich benachbarten Schneidezähne gegen die Mittellinie zu, trifft man bei Längsschnitten oft auch noch Schrägschnitte. Die gegen medial gerichteten Wurzeln von  $I_2$  (202) und  $I_3$  (203) sind auf den Längsschnitten des  $I_1$  (201) noch getroffen (Abb. 4-5).

In den Abb. 4 und 5 sind die **Pulpahöhlen** so angeschnitten, dass man die gemeinsame Höhle und den Auslauf in das jeweilige Pulpahorn sieht. Es ist im Oberkiefer 4 cm und im Unterkiefer um 2.5 cm lang.

Histologisch sind im Querschnitt die **Zahnschubstanzen** und deren Oberkiefer- und Unterkieferumgebung sehr gut sichtbar (Abb. 6-13). An die Pulpahöhle gegen aussen angrenzend findet man das dunkel angefärbte Zahnbein, das **Dentin**. Auch in Längsschnitten (Abb. 14-15) sieht man, wie die von den Odontoblasten gebildeten Dentinröhrchen radiär von zentral gegen peripher angeordnet sind. In der Nähe der Kaufläche erkennt man die im Vergleich zu den primären Dentinröhrchen grösseren Röhrchen des Sekundär- oder Ersatzdentins, die in Längsrichtung gegen die Kaufläche ziehen.

Der weisse **Schmelz** umgibt peripher das Dentin. Die ebenfalls radiär in Richtung auf das Dentin angeordneten Schmelzprismen sind in der Giemsa-Färbung häufig nicht oder nur andeutungsweise zu erkennen. Die Schmelzränder der Schmelzbecher sind auf Längsschnitten und Querschnitten gut sichtbar. Da die Zähne nicht bis und mit Wurzel getroffen sind, reicht der Schmelz bei den I<sub>1</sub> (101/201/301/401) bis ganz apikal.

Der periphere **Zement** überzieht die ganze Krone bis und mit der Wurzel. Abb. 14 und 15 zeigen jeweils deutlich die Knochenzellen des Zements, die Zementozyten. Im Bereich der Krone ist der Zement auf der labialen Seite dünner als auf der lingualen Seite. Er ist labial oft abgewetzt (Abb. 4 und 5).

Die **Schmelzbecher**, auch **Kunden** oder **Infundibula** genannt, sind im Oberkiefer deutlich tiefer als im Unterkiefer. Nach einem der Kaufläche nahen Hohlraum, wo Zement nur als innerer Rand den Schmelz umgibt, folgt gegen apikal der viel längere Boden der Kunde, die Kundenspur, die innen vollständig mit Zement gefüllt ist (Abb. 4-8, 11, 12). Der infundibuläre sowie der periphere Zement können auch braun verfärbt sein. (Abb. 6, 7, 11, 17-18).

Im Oberkiefer sieht man neben den vielen Knochenbälkchen, die den Zahn umgeben, auch ein grosses Venengeflecht und die geriffelte Oberfläche des harten Gaumens.

In den Abb. 4 und 5 sind die Anfänge der **Wurzeln** der I<sub>2</sub> (202/302) sichtbar. Der Zement ist erst teilweise vorhanden (Abb. 14). Die Wurzeln sind noch weit und offen.

Die Oberflächen der Zahnquerschnitte variieren von koronal nach apikal entlang des Zahnkörpers. Kronenseitig sind sie queroval, (Abb. 6, 7 und 11) in der Mitte der Zahnkörper eher rundlich (Abb. 12) und wurzelseitig (apikal) sind sie von dreieckig (Abb. 8, 9, 10) zu längsoval (Abb. 13). Die Querdurchmesser der ersten Incisivi (I<sub>1</sub>) sind in Tab. 2 zu ersehen.

Tabelle 2: Querdurchmesser der ersten Incisivi des Ober- und Unterkiefers

	Oberkiefer	Unterkiefer
2 mm unter der Reibefläche	20 mm	17 mm
12 mm unter der Reibefläche	15 mm	13 mm
22 mm unter der Reibefläche	14 mm	12 mm

Von zentral nach peripher (v.r.n.l.) sieht man **mikroskopisch** in Abb. 14, in einem Ausschnitt von Abb. 5, eine **Pulpahöhle** und Hartsubstanzen mit ihren Vorstufen. Die Pulpahöhle ist mit lockerem Bindegewebe und vielen Blutgefässen gefüllt. An ihrem Rand befinden sich viele **Odontoblasten**, welche das Prädentin radiär in Richtung Peripherie produzieren. Sie entlassen nach peripher je einen Zellfortsatz. Der Erhalt der Odontoblasten ist in den Präparaten sehr unterschiedlich. Meistens sind sie apikal am deutlichsten und am besten darstellbar. Die Mineralisation des erst produzierten Prädentins führt zur Bildung des Dentins. An der Wurzel liegt der Zement apikal direkt dem Dentin an.

Koronal liegt der **Schmelz** als relativ dickes, weissgraues Band peripher dem Dentin an (Abb. 15). Die Schmelzprismen sind bei der vorliegenden Giemsa-Färbung nur schwach zu erkennen; bei dunkler Färbung sind sie besser identifizierbar. Die Zellen des **Zementes**, die Osteozyten oder Zementozyten, erscheinen v.a. koronal als Hohlräume. Mikroskopisch sind bei stärkerer Vergrößerung auch Fortsätze zu sehen. Im Wurzelbereich sind mehrere oftmals zirkulär angeordnete Lagen als Zementzonen zu erkennen. Diese sind teilweise unterschiedlich angefärbt.

Der mikroskopisch sichtbare Aufbau des **Dentins**, die Dentinröhrchen und die sich darin befindenden Dentinfasern (Odontoblastenfortsätze), sind bei Schnitten nahe der Reibfläche, längs oder quergetroffen, als feine Punkte sichtbar (Abb. 16). Das Dentin zeigt leicht aufgehellte Flecken. Dies sind die Röhrchen, die teilweise unregelmässig angeordnet sind. Das Sekundärdentin wird vom koronalen Rand der Pulpa in Richtung Reibfläche produziert. Die Ausrichtung der weniger regelmässig angeordneten und leicht gröberen Fasern ist in den Längsschnitten besser erkennbar als in den Querschnitten.

Der rechte Unterkieferschneidezahn I<sub>1</sub> (401) hat labial eine kleine Schmelzfurche, die mit Zement ausgefüllt ist. (Abb. 6-9, 17). Dieser ist jedoch teilweise verfärbt und aufgelöst.

Die **Schmelzbecher** liegen lingual der Pulpahöhle. Sie befinden sich in allen Schneidezähnen. Mikroskopisch erscheint ihr heller Schmelzrand sehr deutlich (Abb. 17-19). Im freien Teil der Kunde mit ihrem Hohlraum erkennt man sehr häufig auch Futterpartikel (Abb. 18). Der Zement am Rande des Hohlraums ist oft braun verfärbt oder erscheint leicht abgelöst. Der Zement in der Kunde ist wegen der starken Verfärbung histologisch schwer beurteilbar (Abb. 17).

Die Tiefe der Kunden ist das Längenmass für den Teil der Kunde mit Hohlraum. Die **Kundenspur** ist der **Boden der Kunde**, ausgefüllt mit zentralem Zement und umgebendem Schmelzrand. Die Kundenspur ist in den Schneidezähnen meist noch mit gut erhaltenem Zement gefüllt. Zentral kann der Zement einen Restkanal eines Blutgefässes enthalten (Abb. 19). Die Gesamtlänge der Kunden des I<sub>1</sub> im Ober- und Unterkiefer sind in Tabelle 3 ersichtlich.

Tabelle 3: Gesamtlänge der Kunden der ersten Schneidezähne I<sub>1</sub> im rechten Ober- (101) und Unterkiefer (401)

Kundentiefe Incisivus I <sub>1</sub> Oberkiefer	Kundentiefe Incisivus I <sub>1</sub> Unterkiefer
29 mm	17 mm

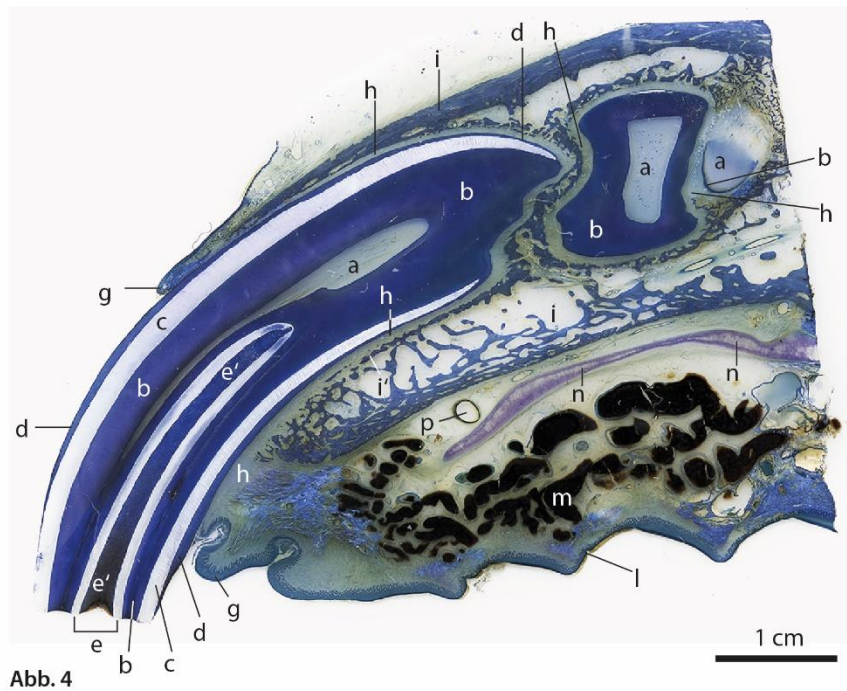


Abb. 4

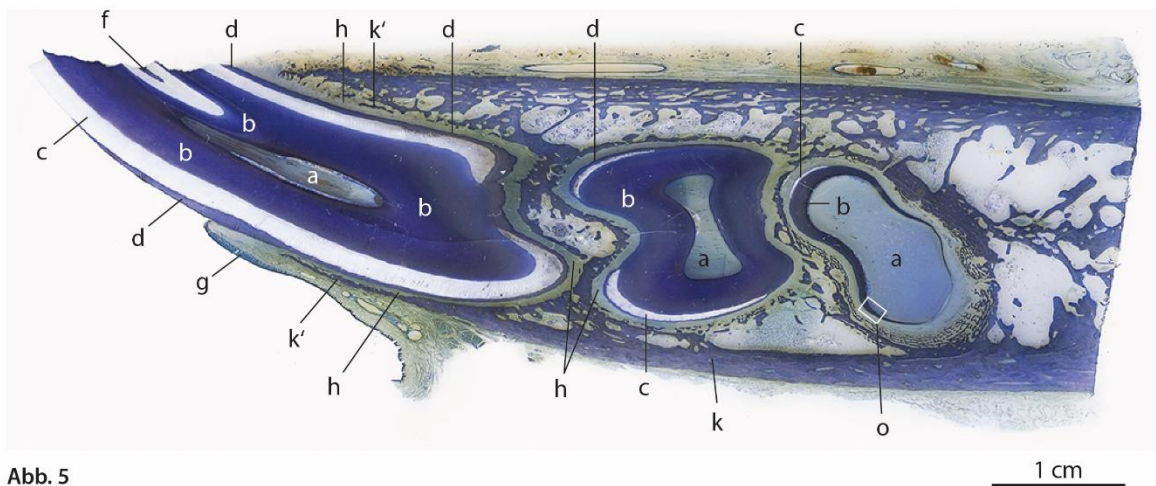


Abb. 5

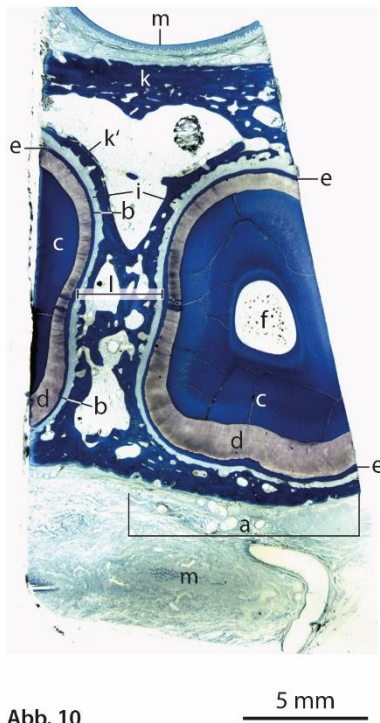
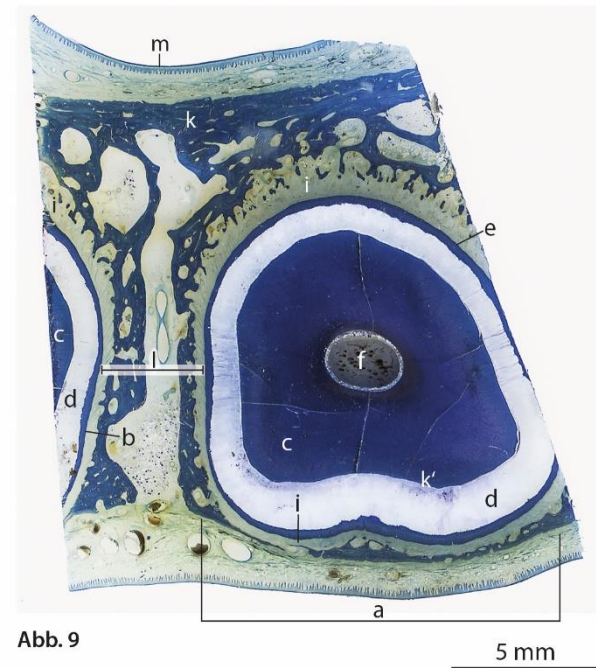
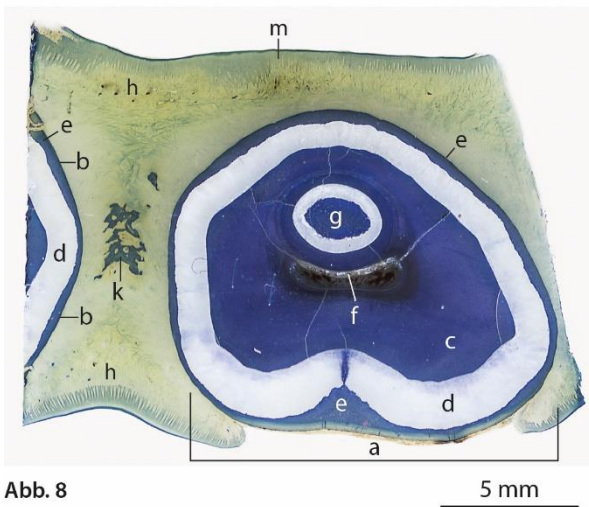
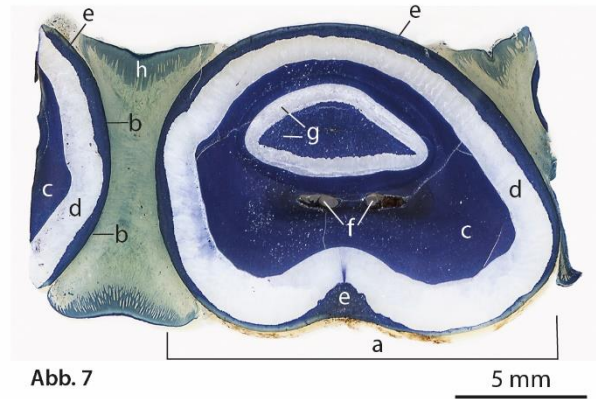
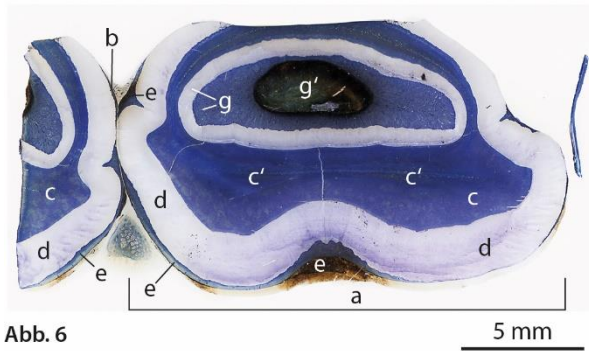
**Abb. 4:** Längsschnitt durch den Schneidezahn I1 (201) im linken Oberkiefer des 5-jährigen Pferdes mit Schrägschnitten durch den apikalen Teil des I2 (202) und I3 (203). Ansicht von links. Giemsa-Färbung. Siehe Legende Abb. 5.

**Abb. 5:** Längsschnitt durch den Schneidezahn I1 (301) im linken Unterkiefer des 5-jährigen Pferdes mit Schrägschnitten durch den apikalen Teil des I2 (302) und I3 (303). Ansicht von links. Giemsa-Färbung.

a Pulpahöhlen; b Dentin; c Schmelz; d Zement; e Kunde im I1 superior (201), e' ihr Zement; f Kunde im I1 inferior (301).

g Gingiva; h Periodontium; i Os incisivum, i' dünne Knochenbälkchen; k Knochen der Mandibula, k' dünne Knochenbälkchen; l-m Oberkiefer: l harter Gaumen, m Venengeflecht; n Jacobson'sches Organ; o Ausschnitt Abb. 14; p Gaumenarterie.





**Abb. 6-10:** Querschnitte durch den Schneidezahn I1 (401) mit angrenzendem I2 (402) des rechten Unterkiefers vom 5-jährigen Pferd in verschiedenen Abständen zur Kaufläche. Giemsa-Färbung. Siehe Legende Abb.11-13.

**Abb. 6:** labialer Teil der Kaufläche.

**Abb. 7:** um 10 mm unter der Kaufläche.

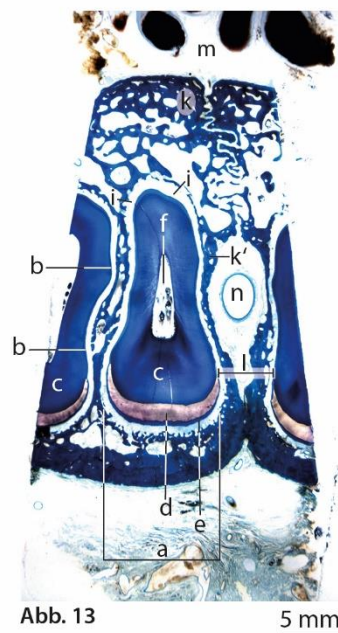
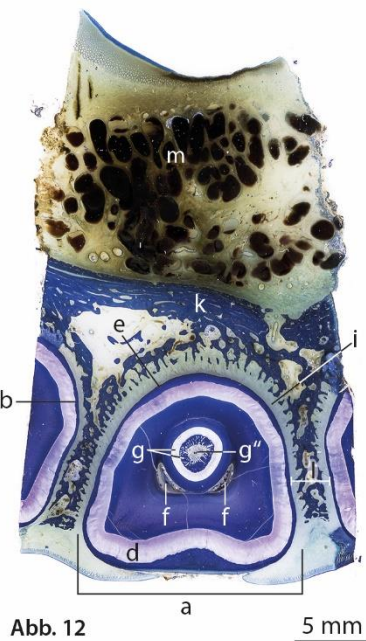
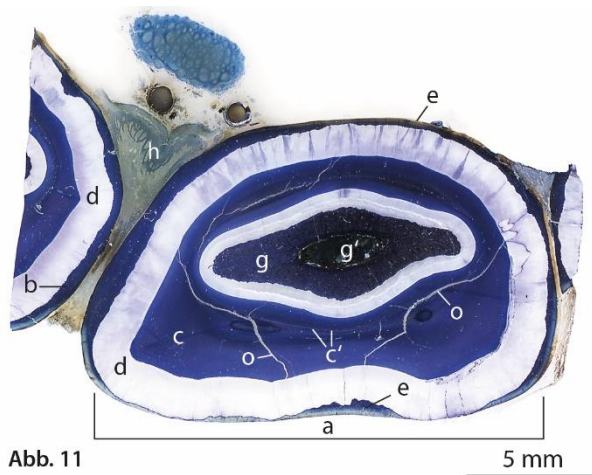
**Abb. 8:** um 15 mm unter der Kaufläche.

**Abb. 9:** um 25 mm unter der Kaufläche.

**Abb. 10:** um 40 mm unter der Kaufläche.

Beachte die dreieckige Querschnittsform und die mit feinen Knochenbälkchen gefüllten weiten Zwischenräume zwischen beiden Schneidezähnen in Abb. 9 und 10.





a Labiale Seite der I1 (101/401);  
 b mesiale Seite der I2 (102/402);  
 c Dentin,  
 c' Sekundärdentin;  
 d Schmelz;  
 e Zement;  
 f Pulpahöhle;  
 g Kunde mit hellem Schmelzrand und innen anliegendem Zement (blau),  
 g' Kundenhohlraum mit Pflanzenpartikeln,  
 g'' Kundenhohlraum in der Tiefe;  
 h Zahnfleisch;  
 i Periodontium;  
 k Knochen der Mandibula,  
 k' dünne Knochenbälkchen;  
 l grosse Abstände im apikalen Teil der Zähne;  
 m Schleimhaut der Mundhöhle, im Oberkiefer mit Venengeflecht;  
 n Ductus incisivus;  
 o Risse in der Zahnschmelz.

**Abb. 11-13:** Querschnitte durch den Schneidezahn I1 (101) des rechten Oberkiefers vom 5-jährigen Pferd mit angrenzenden Schneidezähnen in verschiedenen Abständen zur Kaufläche. Giemsa-Färbung.

**Abb. 11:** 6 mm unter der Kaufläche mit angrenzendem I2 (102), links im Bild.

**Abb. 12:** um 20 mm unter der Kaufläche mit I2 (102) links und I1 (201) rechts im Bild.

**Abb. 13:** um 50 mm unter der Kaufläche mit längsovalen Querschnitt und angrenzendem I2 (102) links und I1 (201) rechts im Bild.

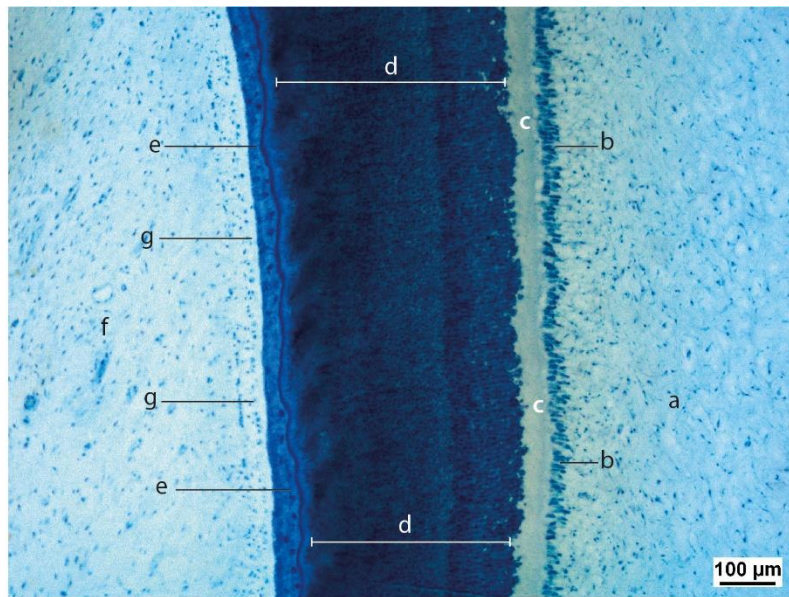


Abb. 14

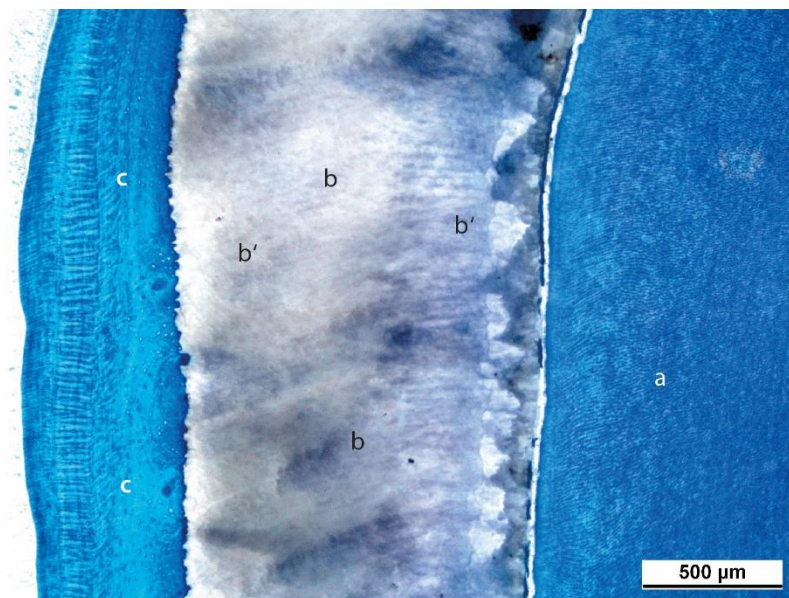


Abb. 15

**Abb. 14:** Zahnschubstanzen im apikalen Teil des Schneidezahnes I3 (303) vom Unterkiefer des 5-jährigen Pferdes. Ausschnitt aus Abb. 5o. Giemsa-Färbung.

a Pulpahöhle; b Odontoblasten; c Prädentin; d Dentin; e Zement; f Periodontium; g Zementoblasten.

**Abb. 15:** Zahnschubstanzen anhand eines Querschnittes durch die Krone des I1 (401) vom rechten Unterkiefer des 5-jährigen Pferdes, 10 mm unter der Kaufläche. Giemsa-Färbung.

a Dentin; b Schmelz, beachte die in den Streifen angedeuteten Schmelzprismen (b'); c Zement.



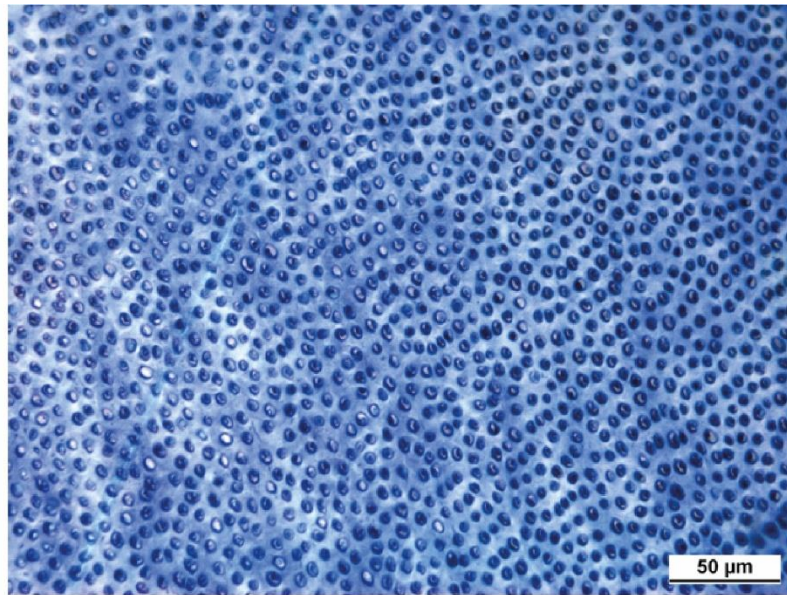


Abb. 16

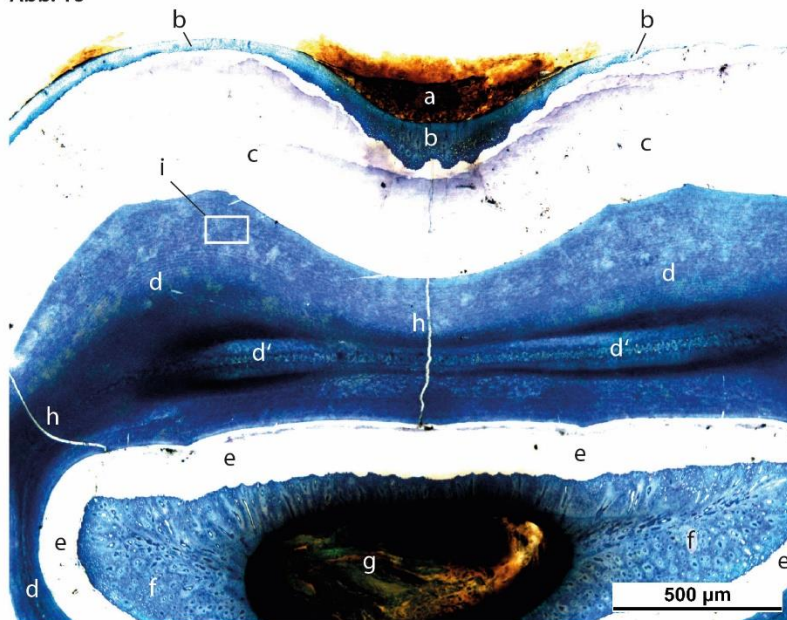


Abb. 17

**Abb. 16:** Dentinröhrchen auf der Kaufläche des I1 (401) vom rechten Unterkiefer des 5-jährigen Pferdes. Die Röhrchen sind an den kreisrunden Ringen zu erkennen. Die zentralen Dentinfasern erscheinen als schwarze Punkte. Ausschnitt aus Abb. 17i.

**Abb. 17:** Reibefläche des I1 (401) mit Kunde vom rechten Unterkiefer des 5-jährigen Pferdes. Giemsaefärbung.

a verkalkter Futterrest auf der Labialseite; b Zement, labial; c Schmelz; d Dentin, d' Sekundärdentin; e-g Kunde = Schmelzbecher: e Schmelzrand, f Zement, g Hohlraum der Kunde mit Futterpartikeln; h Risse in der Zahnschubstanz; i Ausschnitt Abb. 16.

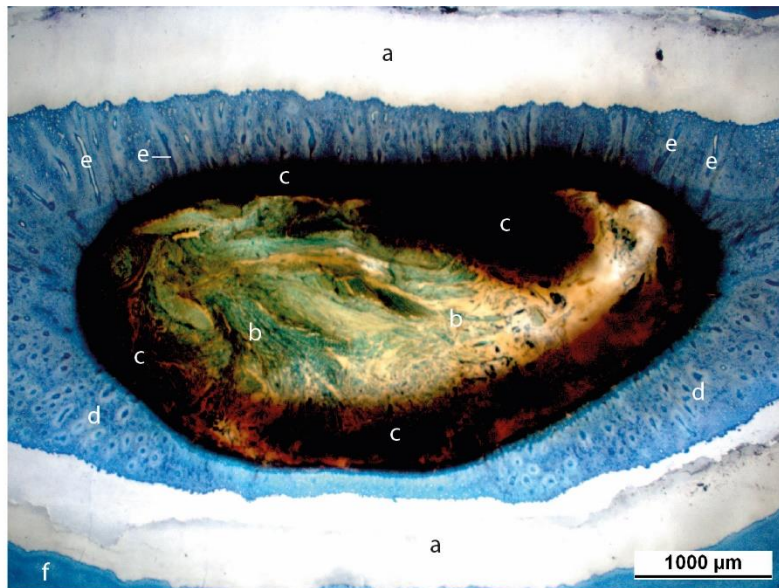


Abb. 18

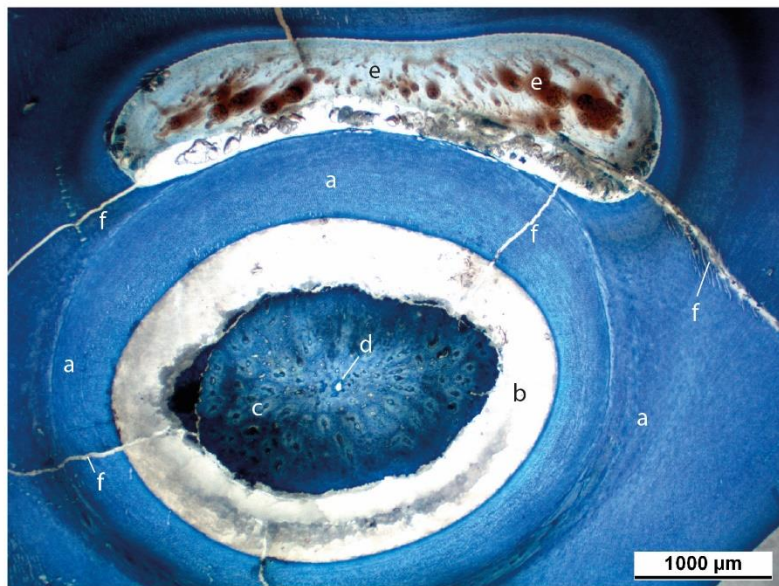


Abb. 19

**Abb. 18:** Detailansicht der Kante von Abb. 17 (stärker belichtet) mit gut sichtbaren Futterpartikeln und durch pflanzliche Farbstoffe braun gefärbtem Innenrand des Zementes.

a Schmelzrand; b Hohlraum der Kante mit Futterpartikeln (grün); c brauner Innenrand des Zementes; d-e unveränderter Zement: d Zementzellen mit Kernen, e Reste von Gefäßkanälen; f Dentin.

**Abb. 19:** Detailansicht der Kundenspur = des Bodens der Kante und der labial davor gelegenen Pulpahöhle des I<sub>1</sub> (401) vom rechten Unterkiefer des 5-jährigen Pferdes. Ausschnitt aus Abb. 8, um 15 mm unter der Reibefläche. Giemsa-Färbung.

a Dentin; b Schmelzrand der Kante; c-d Zement, füllt hier das Innere der Kante aus, d zentraler Rest eines Gefäßkanals; e Pulpahöhle mit Blutresten (braun); f Risse in der Zahnschubstanz.



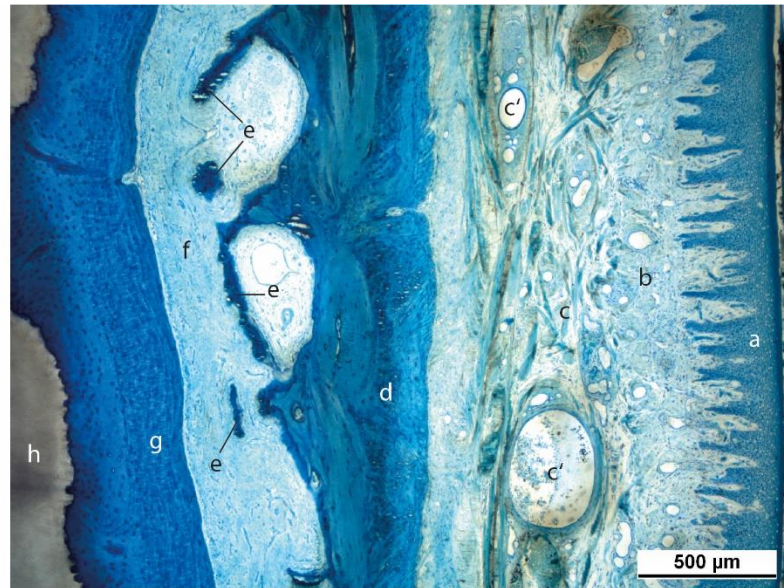


Abb. 20

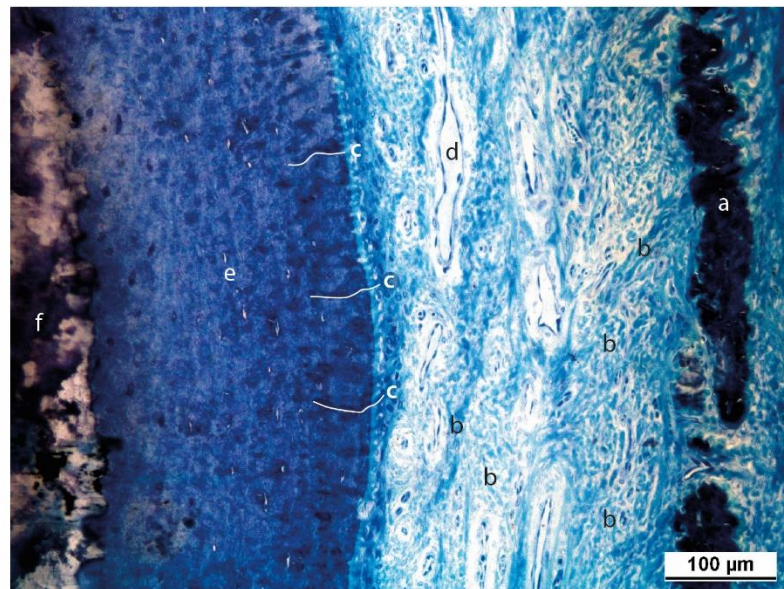


Abb. 21

**Abb. 20:** Querschnitt vom labialen Zahnfleisch und dem darunter liegenden Unterkieferknochen bis zum Zahnkörper des rechten I<sub>1</sub> (401). Ausschnitt aus Abb. 9 um 25 mm unter der Kaufläche. Giemsaefärbung.

a-c Zahnfleisch: a Epithel der kutanen Schleimhaut, b bindegewebige Lamina propria, c Tela submucosa mit grossen Gefässen (c'); d-e Unterkieferknochen: d kompakter Teil, e dünne Knochenbälkchen; f Periodontium; g Zement; h Schmelz.

**Abb. 21:** Verbindung zwischen Unterkiefer und Zement durch Sharpey Fasern des Periodontiums. Querschnitt von den Knochenbälkchen des Unterkiefers bis zum Zahnkörper des I<sub>1</sub> (401) der rechten Seite, 22 mm unter der Kaufläche. Toluidinblaufärbung.

a Knochenbälkchen; b-d Periodontium: b quer und längs getroffene Faserbündel, c Sharpey Fasern, beachte die dunklen Fasern, die bis in den Zement ziehen, stellenweise nachgezeichnet (weisse Linien), d Venen; e Zement; f Aussenzone des Schmelzes.

Das **Zahnfleisch**, die **Gingiva**, ist eine kutane Schleimhaut, die dem Kieferknochen labial, bukkal oder lingual anliegt. Das Zahnfleisch ist fest mit dem Kieferknochen verbunden. Es trägt ein mehrschichtig verhorntes Plattenepithel. Darunter befindet sich die bindegewebige Lamina propria und eine Tela submucosa mit grossen Gefässen (Abb. 20). Der angrenzende Ober- und Unterkieferknochen stellt sich stellenweise als kräftige und kompakte Substanz dar. Ab einer Tiefe von 25 mm unter der Kaufläche findet man zwischen den kompakten Knochenteilen und dem Periodontium oft dünne und feine Knochenbälkchen. Die Knochenbälkchen sind unregelmässig lang und haben oft eine Stärke von nur etwa 200µm.

Das **Periodontium** ist eine dünne, bindegewebige Schicht, die den Zahn umgibt und bis zum Kieferknochen reicht. Am Übergang der Krone zum intraalveolären Teil des Zahnes geht die Lamina propria des Zahnfleisches in das Periodontium über. Das dünne Periodontium hat eine Stärke von ca. 200-500 µm, meistens wurden Werte um 500 µm gemessen. Im Periodontium sind viele Bindegewebsfasern zu sehen, die in verschiedene Richtungen ziehen und häufig zu grossen Bündeln vereint sind (Abb. 21). Die bis in den Zement eintretenden, schräg verlaufenden Haltefasern (Sharpey Fasern), sind besonders gut im Periodontium unter dem Zahnfleisch zu sehen. Sie sind in der Toluidinblaufärbung am besten erkennbar. Neben den längs, schräg und quer getroffenen Fasern erkennt man die Kerne der Fibroblasten und Fibrozyten. Auf der dem Zahn zugewandten Seite sind auch knochenbildende Zellen, Zementoblasten, und auf der dem Kiefer zugewandten Seite Osteoblasten zu erkennen. Besonders auffallend sind die zahlreichen, quergetroffenen Faserbündel von zirkulär getroffenen Fasern.

### 7.1.2. Backenzähne des Oberkiefers

Die **Backenzähne des Oberkiefers** sind aufgrund ihrer Form und Strukturzusammensetzung makroskopisch wie auch mikroskopisch gut zu erkennen. Sie sind wie die Schneidezähne in sich gekrümmt und verjüngen sich leicht nach apikal. Die Backenzähne des Oberkiefers sind 6-9cm lang und haben im Querschnitt eine quadratische Form mit einer Kantenlänge in Längs- und Querrichtung von je 3 cm.

In der Abb. 22 sieht man den P<sub>4</sub> (208) mit seiner gesamten physiologischen Umgebung. Er hat eine Länge von 7cm. Das Übersichtsbild im Längsschnitt zeigt bukkal und palatinal einen kräftigen Kieferknochen, der sich in Richtung Periodontium dann wieder in kleine, feine Knochenbälkchen aufteilt. Bukkal ist ein kleiner Teil der Kieferhöhle angeschnitten.

Der periphere Zement ist bukkal dünner als palatinal. Gut sichtbar sind die Schmelzleisten, die über die Kaufläche herausragen. Die Kante ist fast vollständig mit intaktem Zement gefüllt. Es besteht nur ein kleiner Hohlraum im Innern. Das Sekundärdentin kranial der Pulpahöhlen besteht, dunkler angefärbt, aus einer etwas anderen Struktur als das Dentin. Die beiden Pulpahöhlen verbinden sich apikal zu einer gemeinsamen Pulpahöhle, die bis in die Wurzel zieht.

Auf der palatinalen Seite erkennt man als Spitze einen Teil der von kaudal kommenden Schmelzfalte. Die vielen angeschnittenen Strukturen deuten auf den komplizierten Aufbau der Backenzähne hin.

Die Abbildung 23 zeigt den kaudal an den 4. Prämolaren P<sub>4</sub> (208) angrenzenden ersten Molaren M<sub>1</sub> (209), der durch die vordere Hälfte geschnitten ist. Im Gegensatz

zum 4. Prämolaren erscheint die Kieferhöhle nun gross und das Atmungsepithel ist gut sichtbar. Der Aufbau der Hartsubstanzen ist komplizierter und unübersichtlicher als bei den Schneidezähnen. Koronal und bukkal ist das mesiale Ohr des Schmelzbechers angeschnitten. Die Tiefen des Schmelzbechers beziehungsweise der von kaudal kommenden Schmelzfalte sind gut zu erkennen.

Die angeschnittenen Pulpahöhlen vereinen sich apikal zu einer gemeinsamen Höhle, die gut sichtbar in die noch offene Wurzel hineinragt. Weitere Pulpahörner sind nur wenig angeschnitten.

Palatinal ist die Aufteilung des Kieferknochens in die feinen Knochenlamellen gut erkennbar. Im Kieferknochen eingebettet liegt die Gaumenarterie und an der Wurzel anliegend zeigt sich der N. infraorbitalis in seinem Kanal, der aus knöcherner Substanz der Maxilla gebildet wird. Der Canalis infraorbitalis mit seinem Nerv ist nur durch etwas weniger als 5 mm Knochen von der kaudalen Zahnwurzel des M<sub>1</sub> (209) getrennt.

Der Schnitt des 2. Molaren M<sub>2</sub> (210) in Abb. 24 ist sehr gerade getroffen und daher ist die Erkennung und Benennung der Substanzen einfach. Das rostrale Infundibulum ist nicht in der ganzen Tiefe getroffen. Auffallend ist die dicke Schicht des koronalen Zements, die im Zahnfach in eine äusserst dünne Zementlamelle übergeht. Der abgebildete, schräg angeschnittene 3. Molare M<sub>3</sub> (211) in Abb. 25 verdeutlicht die Krümmung der Backenzähne und den komplizierten Aufbau der Oberkieferbackenzähne im Bereich der Schmelzfalten und Infundibula. Im koronalen Drittel erscheint der rostrale Teil und in den apikalen zwei Dritteln der kaudale Teil des Zahnes. Auch der 3. Molare ist nur von äusserst dünnen Knochenbälkchen umgeben. Im harten Gaumen sieht man, ähnlich wie beim 4. Prämolaren, die A. palatina major, welcher bei Zahnbehandlungen, insbesondere bei Extraktionen, Sorge getragen werden muss.

Die quergeschnittenen Backenzähne zeigen drei Kanten und zwei Vertiefungen, welche gegen bukkal und lateral gerichtet sind. Palatinal haben sie eine tiefe, von kaudal kommende Schmelzfalte (Abb. 27).

Die Abb. 26-29 zeigen Querschnitte des Backenzahns M<sub>1</sub> (109) in verschiedenen Abständen zur Kaufläche. Kronenseitig sieht man den engen Kontakt zwischen dem M<sub>1</sub> (109) und den benachbarten Zähnen. Bereits 30mm unter der Kaufläche vergrössert sich der Abstand um 3 mm. Aufgrund der weiteren Verjüngung der Backenzähne nach apikal vergrössert sich dieser Abstand zunehmend.

In der Abb. 26, im Querschnitt des M<sub>1</sub> (109) des Oberkiefers, sind die beiden Schmelzbecher und alle fünf Äste der Pulpahöhle, die Pulpahörner, übersichtlich dargestellt. Die Abb. befindet sich 7 mm unter der Kaufläche. Die Pulpahörner sind noch mit Sekundärdentin bedeckt. In Abb. 27 zeigen die Schmelzbecher 30 mm unter der Kaufläche Hohlräume im Zement. Der Zement im rostralen Schmelzbecher ist deutlich mehr aufgelöst als der Zement im kaudalen Schmelzbecher. Das Periodontium hat palatinal vom M<sub>1</sub> (109) eine Breite um die 200 µm. Es enthält viele grosse Blutgefässe. An den dünnsten Stellen liegt Fettgewebe zwischen den Knochenbälkchen und der kompakteren Knochensubstanz, die teilweise bis 1 mm dick ist.



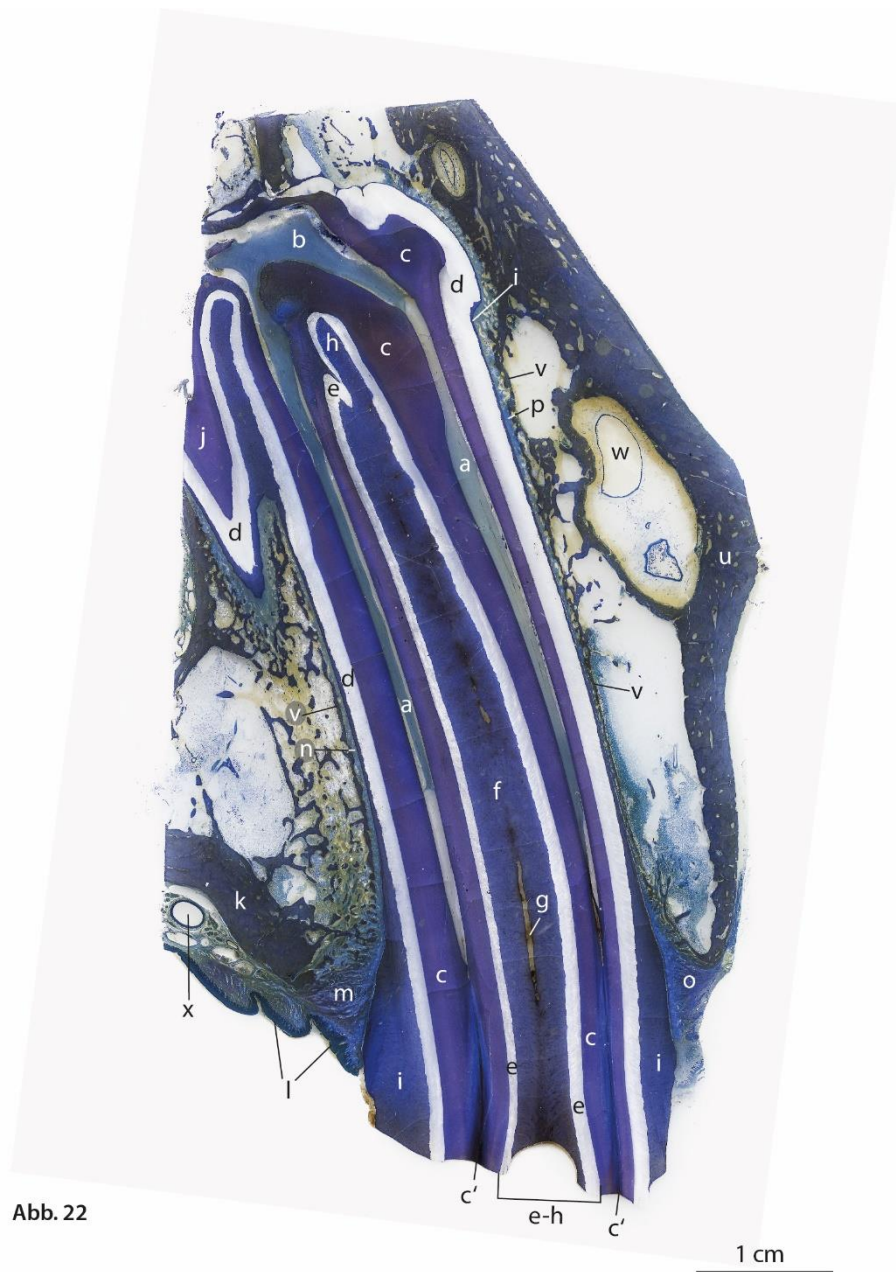


Abb. 22

**Abb. 22:** Längsschnitt durch die kaudale Hälfte des letzten Prämolaren P4 (208) vom linken Oberkiefer des 5-jährigen Pferdes. Ansicht von vorn (= rostral). Giemsafärbung.

a Pulpahörner = Äste der Pulpahöhle; b gemeinsame Pulpahöhle (apikal); c Dentin, c' Sekundärdentin; d Schmelz (hell); e-h Schmelzbecher: e Schmelzrand, f Zement, g innerer Hohlraum im Zement; h apikales Ende des Schmelzbeckers; i peripherer Zement, beachte den dünnen Zementüberzug weiter apikal am Zahnkörper; j von kaudal kommende angeschnittene Schmelzfalte.

k harter Gaumen, Knochen der Maxilla; l Gaumenstaffeln; m palatinales Zahnfleisch; n palatinale Periodontium, o bukkales Zahnfleisch; p bukkales Periodontium; u bukkaler Kieferknochen der Maxilla; v dünne Knochenlamellen angrenzend an das Periodontium, keine Lamina dura!; w Kieferhöhle, rostraler Teil; x Gaumenarterie.



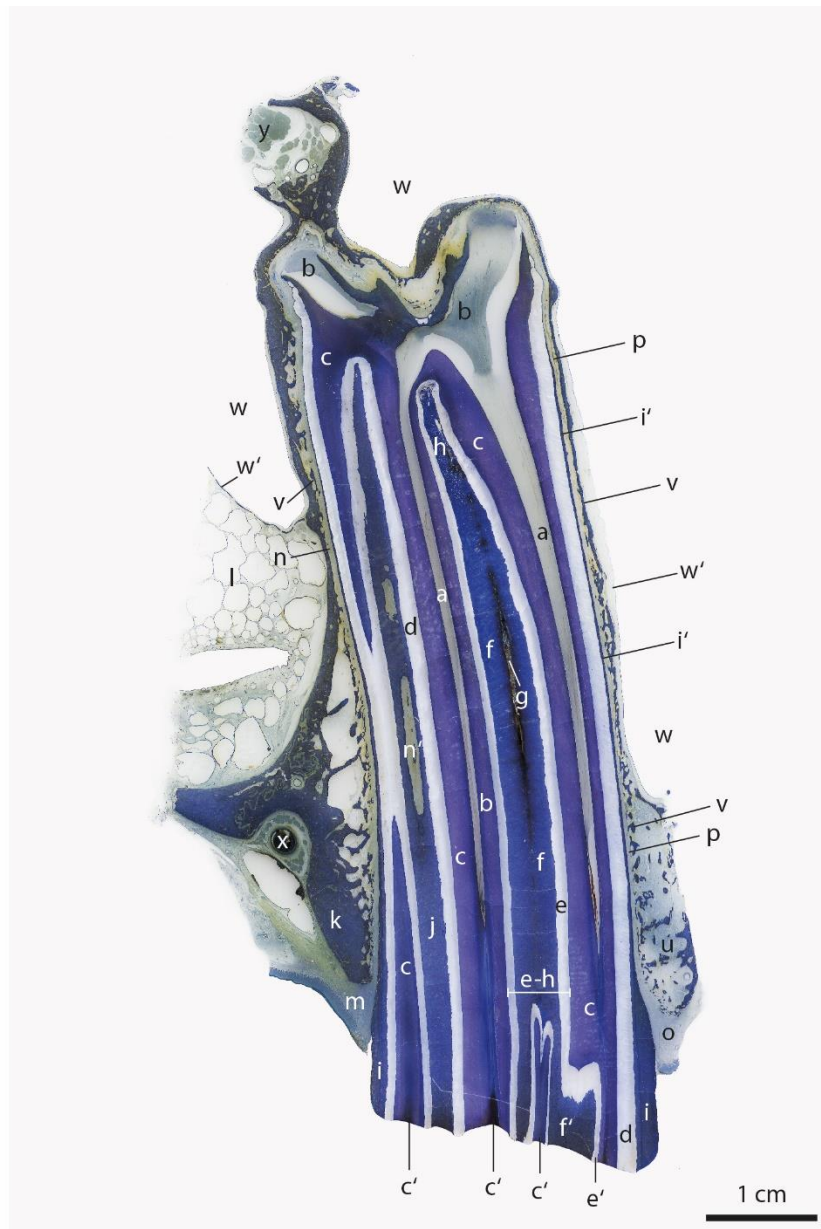


Abb. 23

**Abb. 23:** Längsschnitt durch die vordere Hälfte des ersten Molaren M<sub>1</sub> (209) vom linken Oberkiefer des 5-jährigen Pferdes. Ansicht von vorn (= rostral). Giemsa-Färbung.

a Pulpahörner; b gemeinsame Pulpahöhle (apikale Pulpa); c Dentin, c' Sekundärdentin; d Schmelz (hell); e-h Schmelzbecher: e Schmelzrand, f Zement, e' und f': Schmelz und Zement des lateralen Endes des Schmelzbeckers, g innerer Hohlraum im Zement, h apikales Ende des Schmelzbeckers; i peripherer Zement, beachte den dünnen Zementüberzug (i') weiter apikal am Zahnkörper; j Zement der von kaudal eingezogenen Schmelzfalte.

k harter Gaumen, Knochen der Maxilla; l Gefäßgeflechte am Nasenboden; m palatinales Zahnfleisch; n Periodontium, n' Periodontium vom palatinalen Rand der Schmelzfalte; o bukkales Zahnfleisch; p bukkales Periodontium; u bukkaler Kieferknochen der Maxilla; v dünne Knochenlamellen angrenzend an das Periodontium, keine Lamina dura!; w rostrale Kieferhöhle, w' ihre Schleimhaut; x Gaumenarterie; y N. infraorbitalis in seinem Kanal (Canalis infraorbitalis).

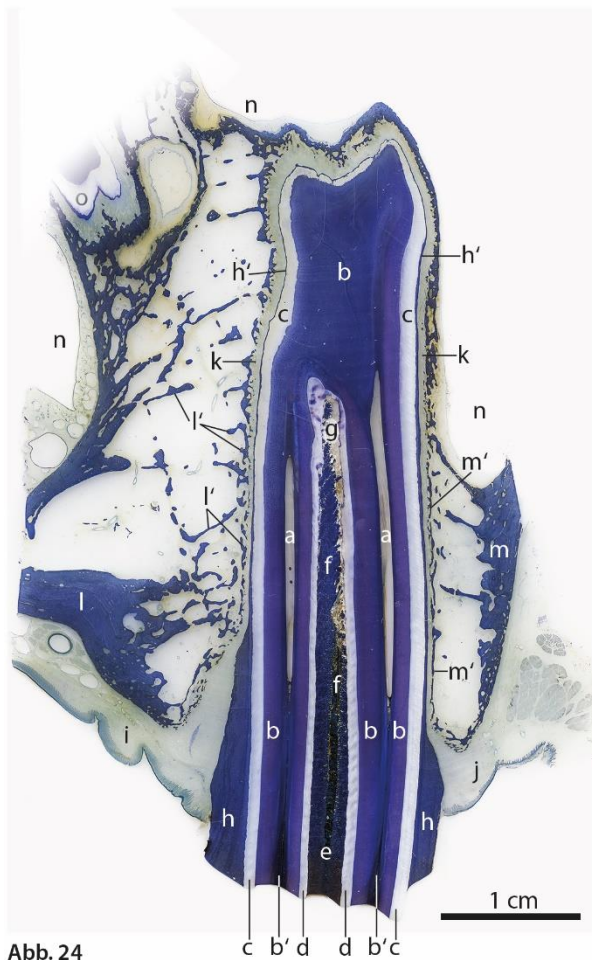


Abb. 24

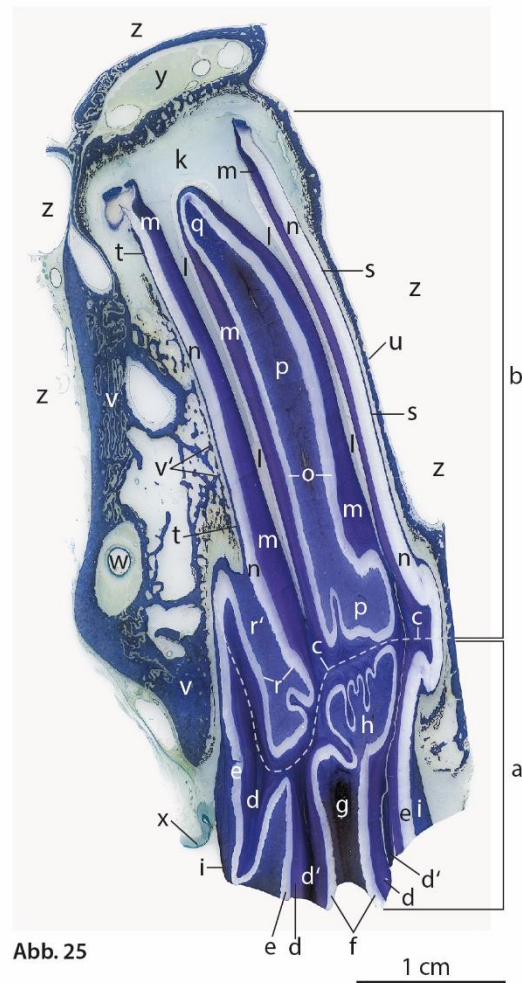


Abb. 25

**Abb. 24:** Längsschnitt durch die vordere Hälfte des zweiten Molaren  $M_2$  (210) vom linken Oberkiefer des 5-jährigen Pferdes. Ansicht von vorn (= rostral). Giemsa-Färbung.

a Pulpahörner; b Dentin, b' Sekundärdentin; c Schmelz; d-g Schmelzbecher: d Schmelzrand, e Zement, f Innerer Teil des Schmelzbechers mit restlichem Hohlraum und verfärbtem Zement, g apikaler Hohlraum mit Zementresten; h peripherer Zement, h' sein dünner apikaler Teil; i-j Zahnfleisch: i palatinal, j bukkal; k Periodontium; l-m Knochen der Maxilla: l palatinal mit feinen Knochenbälkchen, (l') m bukkaler Teil der Maxilla (beachte die feinen ans Periodontium angrenzenden Knochenbälkchen m'); n Kieferhöhle (lat. und med.); o Rest vom apikalen Ende des rostral benachbarten  $M_1$  (209).

**Abb. 25:** Längsschnitt durch den dritten Molaren  $M_3$  (211) vom linken Oberkiefer des 5-jährigen Pferdes. Aufgrund der starken Krümmung des Zahnes ist im koronalen Drittel der rostrale Teil und in den apikalen zwei Dritteln der kaudale Teil des Zahnes getroffen. Ansicht von vorn (= rostral). Giemsa-Färbung.

a koronaler Teil des rostralen = mesialen Zahnkörpers; b apikaler Teil des kaudalen = distalen Zahnkörpers; c eingezeichnete Grenzlinie zwischen rostralem und kaudalem Zahnteil; d-i am rostralen Zahnteil: d Dentin, d' Sekundärdentin, e Schmelz; f-h Schmelzbecher, Infundibulum: f Schmelzrand, g Zement im Innenteil des Schmelzbechers (zentral braun gefärbt); h tiefer liegender Teil des Schmelzbechers mit Falten; i coronaler Teil des Zements.

k-z am kaudalen Zahnteil: k gemeinsame Pulpahöhle, l Äste der Pulpahöhle = Pulpahörner, m Dentin, n Schmelz; o-q Schmelzbecher, Infundibulum: o Schmelzrand, p Zement im Innenteil, q apikaler Boden des Schmelzbechers; r von kaudal und medial kommende Schmelzfalte, gefüllt mit Zement (r'); s-t dünner peripherer Zement: s bukkal, t palatinal; u-v Knochen der Maxilla: u bukkal, v palatinal, palatinal stärker, aber mit dünnen Lamellen (v'); w A. palatina major; y N. infraorbitalis; z Buchten der kaudalen Kieferhöhle.



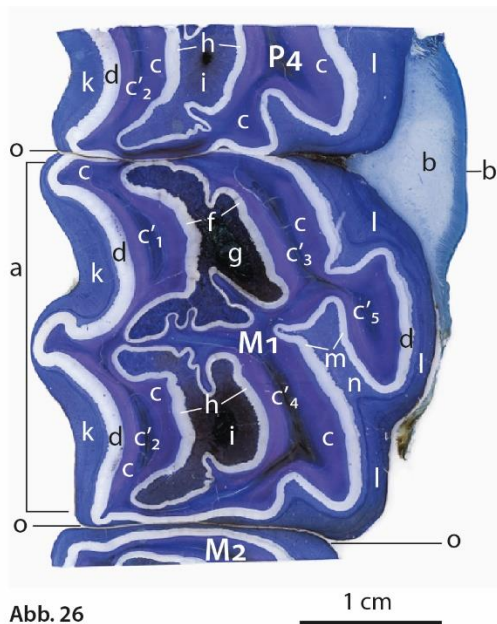


Abb. 26

1 cm

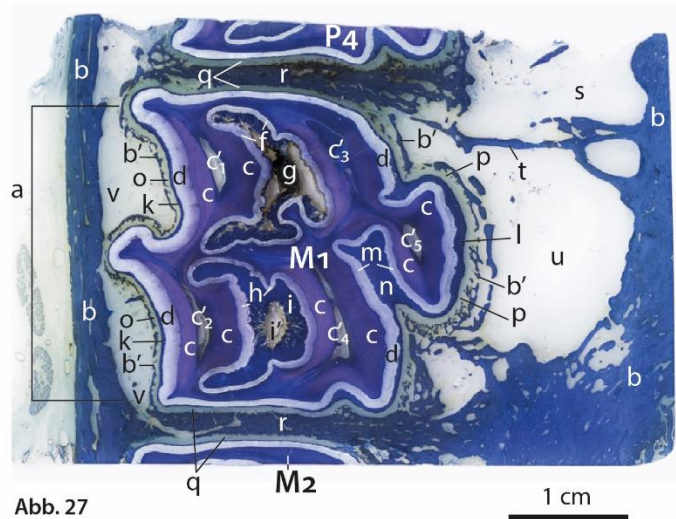


Abb. 27

1 cm

**Abb. 26:** Querschnitt durch den 1. Molaren M<sub>1</sub> (109) und Anschnitte der benachbarten Zähne P<sub>4</sub> (108) und M<sub>2</sub> (110) des rechten Oberkiefers vom 5-jährigen Pferd. Die Schnittfläche liegt 7 mm unter der Kaufläche. Ansicht von ventral und rostral, ähnlich wie bei der Inspektion der Kauflächen am lebenden Pferd. Giemsa-Färbung.

a bukkale Fläche mit nach lateral vorragenden Schmelzleisten; b Rest der Gaumenschleimhaut; c Dentin, c' Sekundärdentin an den Positionen 1-5; d Schmelz; f-i Schmelzbecher, Infundibula in Ohrenform, die Ohrspitzen schauen gegen bukkal; f-g rostraler Becher: f Schmelzrand, g Zementfüllung, innen braun verfärbt; h-i kaudaler Becher: h Schmelzrand, i Zementfüllung.

k-l peripherer Zement: k bukkal, l palatinal; m-n von kaudal kommende Schmelzfalte: m ihr Schmelzrand, n ihre Zementfüllung; o sehr enger Spalt zwischen den Kontaktflächen, an denen teilweise Zahnschmelz abgerieben ist.

c'1-5 Lokalisation der Äste des Sekundärdentins: 1 bukkal mesial, 2 bukkal distal, 3 palatinal mesial, 4 palatinal distal, 5 palatinal Mitte.

**Abb. 27:** Querschnitt durch den 1. Molaren M<sub>1</sub> (109) und Anschnitte der benachbarten Zähne P<sub>4</sub> (108) und M<sub>2</sub> (110) des rechten Oberkiefers samt umgebendem Knochen, 30 mm unter der Kaufläche. Ansicht von ventral und rostral. Giemsa-Färbung.

a bukkale Zahnfläche mit nach lateral vorragenden Schmelzleisten; b umgebender Knochen der Maxilla mit feinen Knochenbälkchen (b'), die an das Periodontium angrenzen; c Dentin, c' Pulpahöhlen der Hörner (1-2, 4-5) oder Sekundärdentin bei c'3 (palatinal mesial); d Schmelz; f-g rostraler Schmelzbecher: f Schmelzrand, g Zement oder Hohlräume im Innern; h-i kaudaler Schmelzbecher: h Schmelzrand, i Zement, i' zentraler Hohlraum.

k-l dünner peripherer Zement: k bukkal, l palatinal; m-n von kaudal kommende Schmelzfalte: m ihr Schmelzrand, n ihre Zementfüllung; o-q Periodontium: o bukkal, p palatinal, q an den Kontaktflächen; r Knochen zwischen den Backenzähnen; s-v Kieferhöhle: s rostraler Teil, t Septum, u kaudaler Teil; v bukkales Knochenmark gefüllt mit Fettzellen und Gefäßen.

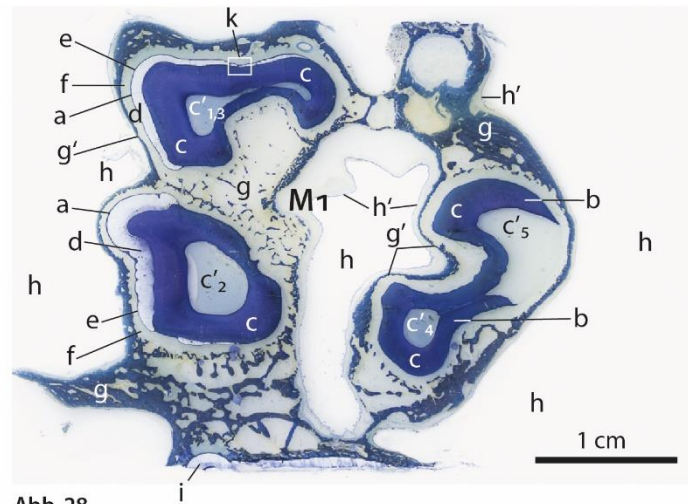


Abb. 28

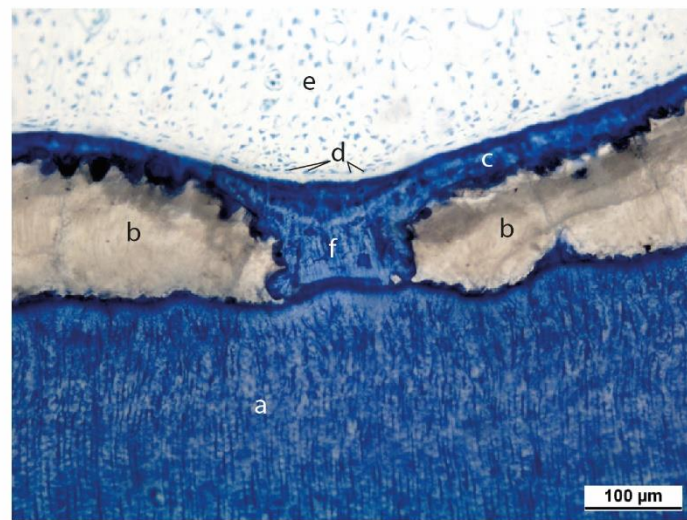


Abb. 29

**Abb. 28:** Querschnitt durch den apikalen Teil des 1. Molaren M<sub>1</sub> (109) des rechten Oberkiefers vom 5-jährigen Pferd, um 65 mm unter der Kaufläche. Die Pulpahöhle ist hier am apikalen Teil des Zahnkörpers schon in mehrere Äste oder Hörner unterteilt. Es kommt noch Schmelzbildung vor. Ansicht von ventral und rostral. Giemsa-Färbung.

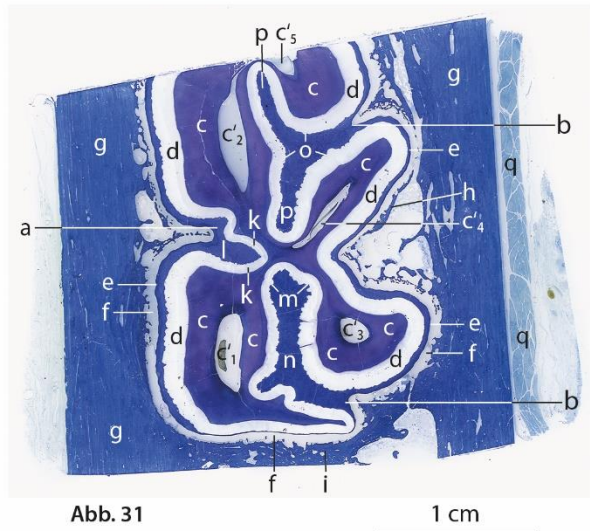
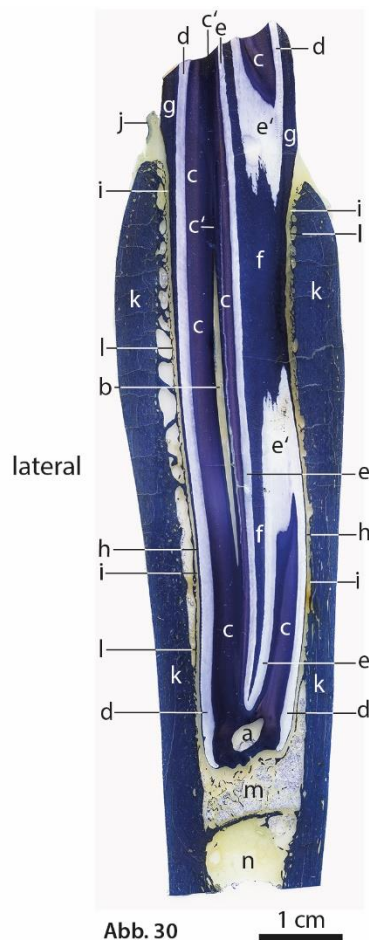
a bukkale Zahnanteile; b palatinale Zahnanteile; c Dentin, c' Äste der Pulpahöhlen 1-5; d Schmelz; e dünner peripherer Zement; f Periodontium.

g Kieferknochen der Maxilla, beachte die häufig an das Periodontium angrenzenden dünnen Knochenbälkchen (g'); h Kieferhöhle mit bukkaler, zentraler und palatinaler Bucht, stellenweise mit sichtbarer Auskleidung durch das Atmungsepithel (h'); i Schmelz des kaudal angrenzenden M<sub>2</sub> (110); k Ausschnitt Abb. 29 mit Schmelz- und Zementbildung.

**Abb. 29:** Neu gebildeter Schmelz und Zementbildung im apikalen Teil des M<sub>1</sub> (109) des 5-jährigen Pferdes. Ausschnitt von Abb. 28k. Giemsa-Färbung.

a Dentin mit gut sichtbaren Fasern der Dentinröhrchen; b mineralisierter Schmelz (hell); c neu gebildeter Zement, dem Schmelz aussen angelagert; d Zementbildner des Periodontiums; e Periodontium; f Nase des Zements, direkt angrenzend an das Dentin am Übergang des Zahnkörpers in die Wurzel.





**Abb. 30:** Längsschnitt durch die hintere Hälfte des 4. Prämolaren P4 (308) vom linken Unterkiefer des 5-jährigen Pferdes. Ansicht von rostral. Giemsa-Färbung.

a kaudale Pulpahöhle; b laterales Horn der Pulpahöhle; c Dentin, c' Sekundärdentin ;  
d Schmelz; e-f von medial (= lingual) kommende kaudale Schmelzfalte: e ihr Schmelzrand, an 2 Stellen tangential getroffen (e'), f ihr Zement.

g-h peripherer Zement: g coronal dick, h am Zahnkörper dünn; i Periodontium; j bukkales Zahnfleisch;  
k-l Knochen des Corpus mandibulae: k kompakter Teil, l dünne Knochenbälkchen, angrenzend ans Periodontium; m Knochenmark am apikalen Zahnteil; n N. alveolaris inferior.

**Abb. 31:** Querschnitt durch den Zahnkörper des 4. Prämolaren P4 (408) vom rechten Unterkiefer des 5-jährigen Pferdes, 45 mm unter der Kaufläche. Ansicht von dorsal und von vorne. Giemsa-Färbung.

a kleine Schmelzfalte an lateraler = bukkaler Seite; b tiefe Schmelzfalte an medialer = lingualer Fläche;  
c Dentin, c' quer getroffene Pulpahörner = Äste der Pulpahöhlen 1-5; d Schmelz; e peripherer Zement, dünn; f Periodontium; g-h Knochen des Corpus mandibulae: g kompakter Knochen, h feine Knochenbälkchen; i Knochenbrücke zum P3 (407).

k-p Schmelzfalten: k-l laterale Falte: k ihr Schmelzrand, l Zement; m-n linguale, rostrale = mesiale Falte: m ihr Schmelzrand, n ihr Zement; o-p linguale, kaudale = distale T-förmige Falte: o ihr Schmelzrand, p ihr Zement; q M. mylohyoideus, Muskelfasern quer getroffen.

Äste der Pulpahöhlen 1-5 : 1 bukkal mesial, 2 bukkal distal, 3 lingual mesial, 4 lingual Mitte, 5 lingual distal.

Nach Staszyk (2011) werden bei den Zähnen P<sub>3</sub>-M<sub>2</sub> im Ober- und Unterkiefer die Äste der Pulpahöhle und die Positionen der gegen die Kaufläche folgenden Marken des Ersatzdentins wie folgt durchnummeriert:

Nr. 1: Ast bukkal mesial (=rostral); Nr. 2: Ast bukkal distal (=kaudal);  
Nr. 3: Ast palatinal mesial (=rostral); Nr. 4: Ast palatinal distal (=kaudal);  
Nr. 5: Ast palatinal Mitte.

Die Marken des Ersatzdentins und der Äste der Pulpahöhlen sind in den Abb. 26-27 sowie in den späteren Abb. so nummeriert.

In Abb. 28 sieht man die drei Wurzeln der Oberkieferbackenzähne im Querschnitt des M<sub>1</sub> (109): bukkal zwei und palatinal eine. Die Wurzeln dringen bis tief in die Kieferhöhle hinein. 65 mm unter der Kaufläche bilden die Pulpahörner 1 und 3 eine gemeinsame Höhle. Die Pulpahörner 4 und 5 sind noch getrennt. Der Oberkiefer ist hier in sehr dünnen und feinen Knochenbälkchen sichtbar. Abb. 29 zeigt neben dem apikal noch neu gebildeten Schmelz die Zementbildner im Periodontium. Das direkte Angrenzen des Zementes an das Dentin in der Mitte des Präparates deutet auf die wurzelnahe Region hin.

Am apikalen Ende der Backenzähne wurde in allen Längsschnitten vom 5-jährigen Pferd noch Schmelz sowie Schmelzbildung nachgewiesen (Abb. 22-25,30). Dies war auch in zwei Querschnitten weit apikal zu sehen (Abb. 28-29). Das Längenwachstum des Zahnkörpers der Backenzähne ist somit beim 5-jährigen Pferd noch nicht abgeschlossen. Dagegen weist der Querschnitt aus dem tiefliegenden Anteil des Schneidezahnes I<sub>3</sub> in Abb. 14 darauf hin, dass im apikalen Teil der Schneidezähne schon die eigentliche Wurzelbildung aus Zement und Dentin beginnt.

### 7.1.3. Backenzähne des Unterkiefers

Die **Backenzähne des Unterkiefers** sind ähnlich wie im Oberkiefer 6-9 cm lang. Ihr Querschnitt ist rechteckig mit 3 cm in der Längsrichtung und 2 cm in der Querrichtung. Die Unterkieferbackenzähne haben statt der Schmelzbecher drei Schmelzfalten. Die von kaudal und lingual ins Innere des Zahnes ziehende Falte ist deutlich T-förmig. Im P<sub>4</sub> (308) ist diese Falte in der Abb. 30 im Längsschnitt getroffen. Im apikalsten Teil des Zahnes ist ähnlich wie bei den Backenzähnen des Oberkiefers noch Schmelz vorhanden. Der 3-5 mm starke Unterkieferknochen bettet den Zahn ein. Inmitten der beiden Ränder des Knochens der Unterkiefer sieht man das Knochenmark und ventral der Backenzahnwurzeln im Margo ventralis innen anliegend den kräftigen Nervus alveolaris inferior.

## **7.2. Befunde vom 2-jährigen Pferd vor dem Zahnwechsel**

Die Bilder des 2-jährigen Pferdes sind typisch für ein Pferdegebiss vor dem Zahnwechsel. Alle Milchzähne sind mit den darunterliegenden noch nicht durchgebrochenen Anlagen der Ersatzzähne vorhanden. Die histologischen Präparate zeigen deutlich den Aufbau der Ersatzzähne, der Molaren sowie die Ab- und Umbauvorgänge an den Resten der Milchzähne. Im Allgemeinen ist der Aufbau der Zähne und ihrer Hartsubstanzen beim 2-jährigen Pferd ähnlich dem des 5-jährigen Pferdes, so dass auf deren Beschreibungen weniger detailliert eingegangen wird.

Die Reste der Milchzähne sind bei den Schneidezähnen und den Prämolaren über den grossen Anlagen der Ersatzzähne deutlich zu sehen. Nach der Schilderung der Besonderheiten der Ersatzzähne werden jeweils die Milchzähne samt den dort sichtbaren Abbauvorgängen beschrieben.

### 7.2.1. Schneidezähne von Unter- und Oberkiefer

In Abb. 32 ist der Ersatzzahn des  $I_1$  (301) um 5 cm lang, während der Milchzahn  $Id_1$  (801) mit seinem Wurzelrest noch eine Länge von ca. 3.5 cm aufweist. Der Ersatzzahn liegt deutlich unter und neben dem apikalen Teil des Milchzahnes und zeigt apikal eine sehr weite Pulpahöhle.

Wie die Abb. 33 als Ausschnitt von Abb. 32 zeigt, produzieren die Odontoblasten von der Pulpahöhle aus in Richtung peripher (in Richtung des späteren Schmelzes) die Vorstufe des Dentins, das Prädentin. Durch Einlagerung von Kalziumphosphat entsteht daraus das Dentin. Die quergetroffenen Dentinkanäle mit ihren Fasern sind bereits in dieser Vergrößerung zu erkennen.

Der Schmelz des Schneidezahnes  $I_1$  (401) in Abb. 33 ist apikal unvollständig kalzifiziert. Die Schmelzbildner (Enameloblasten) sind hochzylindrische Zellen, welche knapp angefärbt sind und die Vorstufe des Schmelzes bilden. Diese produzieren den Schmelz in Richtung Dentin. Diese Produktionsrichtung wird durch die Streifung der aneinandergereihten Schmelzprismen sichtbar. Eine Kossafärbung zeigt bei diesem Schneidezahn und auch bei den Backenzähnen, dass die Kalzifikation des Schmelzes schon weit apikal beginnt. Die Kalkeinlagerung geschieht somit bereits im Bereich der Vorstufen des Schmelzes, die sich nach Giemsa blau anfärben.

Im Bereich der sichtbaren Grenzlinie sind Schmelz und Dentin fest miteinander verbunden. Der Schmelzbecher ist um 25 mm tief und an seinem inneren Rand und am Boden der späteren Kante von Zement ausgekleidet.

Der Milchzahn zeigt labial eine noch relativ lange Wurzel. Zentral ist eine Pulpahöhle zu erkennen und gegen lingual erscheint der apikale Teil des Zahnes sehr kurz. Der periphere Zement fehlt koronal auf der Labialseite. Auf der Lingualseite ist er jedoch noch vorhanden. Der Längsschnitt zeigt nur noch einen Rest der Kante. Im Ausschnitt von Abb. 32l ist in Abb. 34 ein deutlicher Abbau des Dentins im apikalen Teil des Milchzahnes zu erkennen. Mehrere Osteoklasten (Odontoklasten) aus dem Periodontium grenzen an das Dentin und lassen mit den Lakunen die Spuren des Abbaus erkennen.

Der Längsschnitt (Abb. 35) des  $Id_1$  (501) und  $I_1$  (101) des Oberkiefers zeigt ein sehr ähnliches Bild wie Abb. 32. Der Milchschneidezahn  $Id_1$  (501) des Oberkiefers mit seinem Wurzelrest ist 2.5 cm lang, der Ersatzzahn  $I_1$  (101) hat eine Länge bei 6 cm.

Neben dem Ersatzzahn  $I_1$  (101) liegt das Zahnsäckchen vom Ersatzzahn des  $I_2$  (Abb. 35k). Die Anlage des Ersatzzahnes des  $I_1$  lässt apikal wieder eine sehr weite Pulpahöhle erkennen. Die Schmelz- und Dentinbildung an der Spitze der Anlage sind in Abb. 36 noch einmal bei starker Vergrößerung zu sehen. Dabei fallen besonders die zylindrischen Zellen der Odontoblasten und der Enameloblasten auf. Die Grenzlinie zwischen dem Dentin und der Vorstufe des Schmelzes ist nur mikroskopisch zu erkennen und im Bild eingezeichnet (gepunktete Linie).

Der Schmelzbecher des  $I_1$  (101) hat eine Tiefe um 30 mm. Sein Lumen enthält Bindegewebe. Zement bedeckt den gesamten inneren Rand des Schmelzes. Auf halber Höhe des Schmelzbeckers stellt Abb. 38 die Verbindung zwischen Schneidezahn und seiner Umgebung in der Vergrößerung dar. Der Ausschnitt von Abb. 35n zeigt lateral angrenzend an das Periodontium dünne Bälkchen des Alveolarknochens, den peripheren Zement und die innen anliegenden Osteoblasten. Innen am Zement erscheint die breite Schicht des Schmelzes, deren Schattierung den



Verlauf der Schmelzprismen darstellt. Angrenzend liegt das Dentin. Die enge Verbindung zwischen Schmelz und Dentin wird in dieser Abb. nicht so deutlich sichtbar.

Die linguale Wurzel des Milchzahns ist schon stark abgebaut. Abb. 37 zeigt den Abbau von Dentin und Zement. Der Abbau des Dentins durch Odontoklasten und der Abbau des Zementes durch Zementoklasten sowie die Lakunen der aufgelösten Zahnschubstanz sind zu sehen. Am Rest des Milchzahns ist noch eine kleine Kariesrinne vorhanden, wenig oder kein Zement auf der labialen Seite und eine deutliche Zementschicht auf der lingualen Seite zu sehen (Abb.35).

Ausser den Zähnen sind in Abb. 35 der harte Gaumen mit den Gaumenstaffeln, das grosse Venengeflecht und die Gaumenarterie, A. palatina major erkennbar.

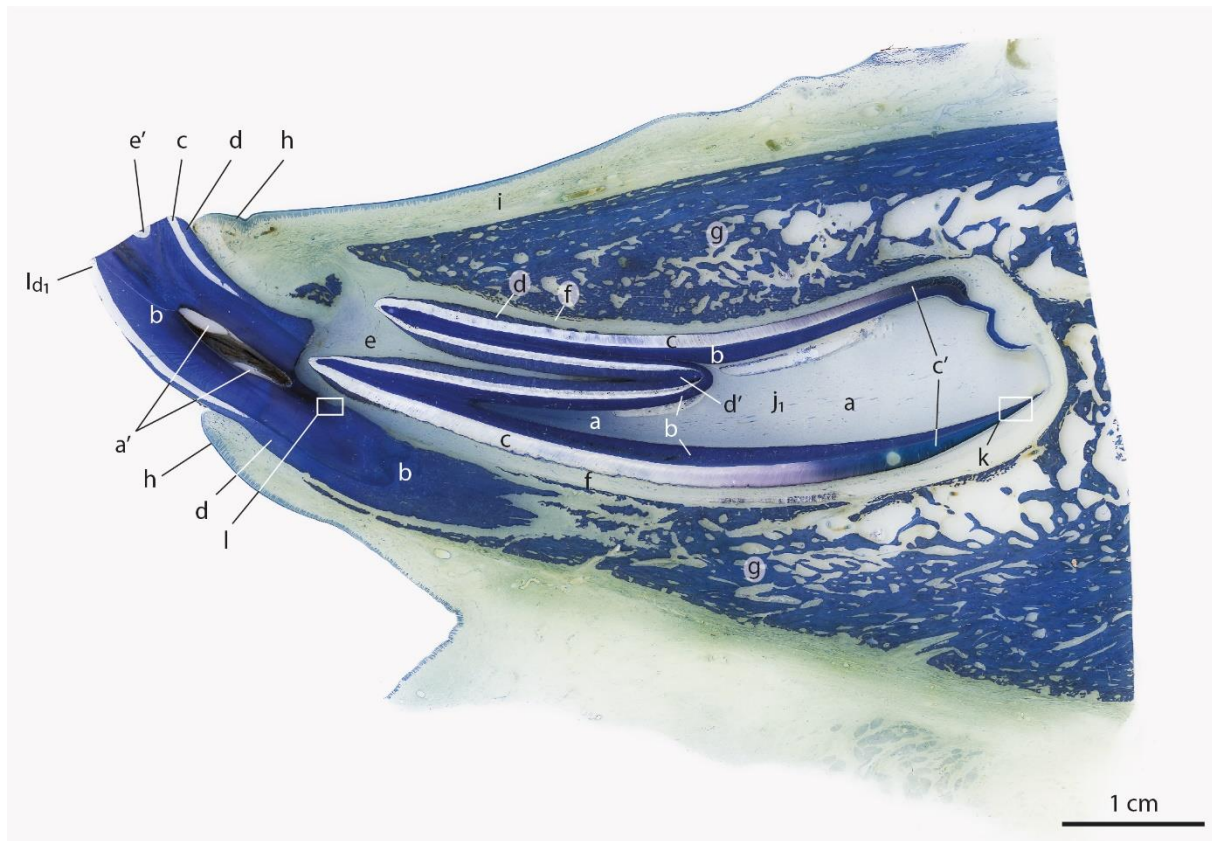


Abb. 32

**Abb. 32:** Längsschnitt durch den Schneidezahn I<sub>1</sub> (401) und dessen Milchzahn I<sub>d1</sub> (801) des rechten Unterkiefers des 2-jährigen Pferd. Giemsaefärbung.

a Pulpahöhle, a' Pulpahöhle des Milchzahnes; b Dentin; c Schmelz (hell), c' Vorstufen des Schmelzes (blau); d Zement, d' Zement am Boden der Kunde; e Kunde = Schmelzbecher des Ersatzzahnes, e' Rest des Bodens der Kunde vom Milchzahn; f Periodontium; g Knochen des Unterkiefers; h Zahnfleisch; i Schleimhaut des Mundhöhlenbodens; k Ausschnitt Abb. 33 mit Bildung der Zahnsubstanzen; l Ausschnitt Abb. 34 mit Osteoklasten am Dentin auf halber Höhe des Milchzahnes.

**Abb. 33:** Bildung der Zahnsubstanzen im apikalen Teil des Ersatzzahnes. Ausschnitt aus Abb. 32k.

a Bindegewebe der Pulpahöhle; b Odontoblasten; c Prädentin; d Produktionsrichtung des Dentins (Pfeil); e Dentin.

f inneres Schmelzepithel; g Enameloblasten, g' Zellkerne der tiefer liegenden Enameloblasten; h Produktionsrichtung des Schmelzes (Pfeil); i Vorstufen des Schmelzes, noch nicht vollständig verkalkt; k Grenzlinie zwischen Schmelz und Dentin.

**Abb. 34:** Osteoklasten am Dentin auf halber Höhe des Milchzahnes. Ausschnitt aus Abb. 32l.

a Dentin; b Periodontium; c Osteoklasten; d Lakune vom abgebauten Dentin.



Abb. 33

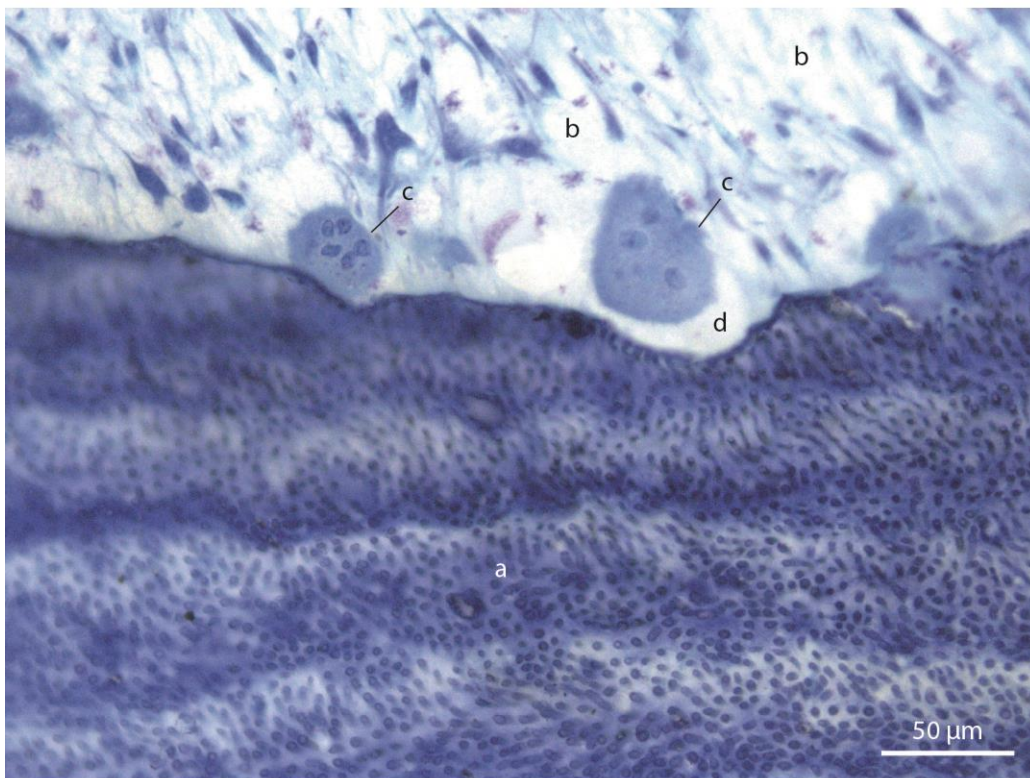
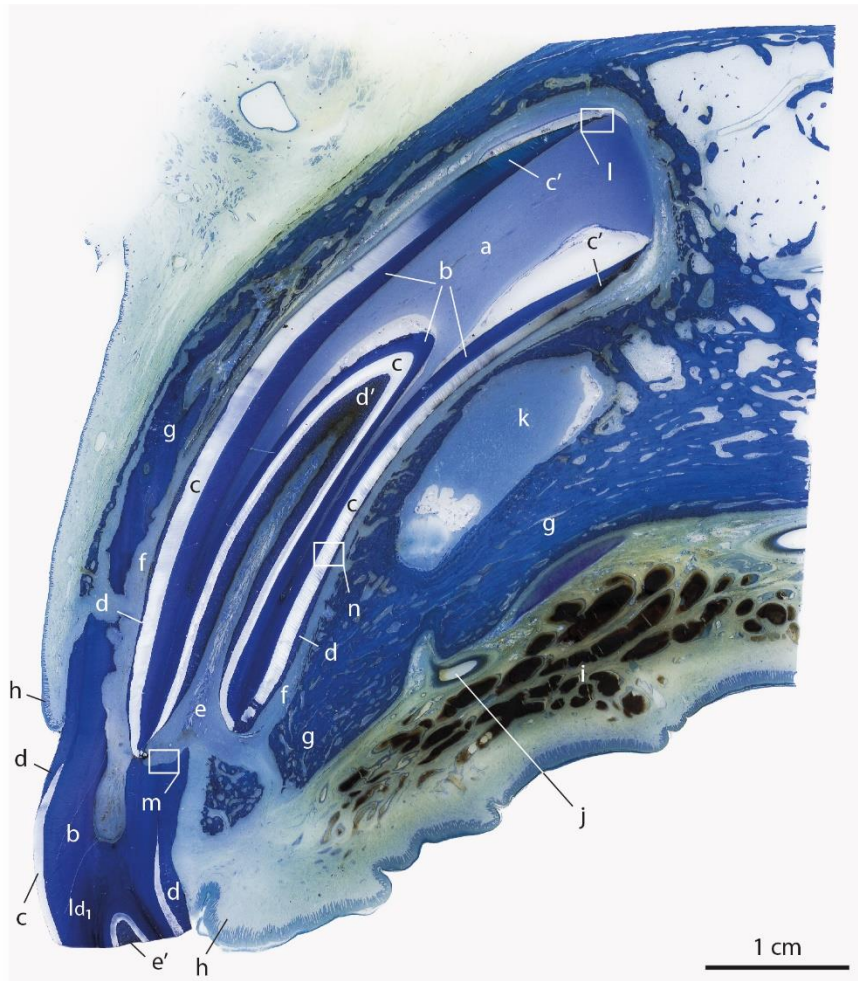


Abb. 34





**Abb. 35**

**Abb. 35:** Längsschnitt durch den Schneidezahn I<sub>1</sub> (101) und dessen Milchzahn Id<sub>1</sub> (501) des rechten Oberkiefers des 2-jährigen Pferd. Giemsafärbung.

a Pulpahöhle; b Dentin; c Schmelz (hell), c' Vorstufen des Schmelzes (blau); d Zement, d' Zement am Boden der Kunde; e Kunde = Schmelzbecher, e' Boden der Kunde des Milchzahns; f Periodontium; g Knochen des Oberkiefers; h Zahnfleisch; i Schleimhaut des harten Gaumens mit Venengeflecht; j Gaumenarterie; k Zahnsäckchen des I<sub>2</sub> (102); l Ausschnitt Abb. 36; m Ausschnitt Abb. 37; n Ausschnitt Abb. 38.

**Abb. 36:** Bildung der Zahnschubstanzen im apikalen Teil des Ersatzzahnes. Bild bei starker Vergrößerung als Ausschnitt von Abb. 35 l.

a Bindegewebe der Pulpahöhle; b Odontoblasten c Prädentin; d Dentin; e Schmelzpulpa; f Enameloblasten des inneren Schmelzepithels; g Vorstufen des Schmelzes; h Grenzlinie zwischen Dentin und den Vorstufen des Schmelzes (gepunktet).

**Abb. 37:** Osteoklasten an Dentin und Zement des Milchzahnes. Ausschnitt aus Abb. 35m.

a Dentin; b Zement; c Periodontium = Bindegewebe zwischen Ersatzzahn und Milchzahn; d Osteoklasten, (Odontoklasten); e Osteoklasten (Zementoklasten); f Lakune im Dentin; g Lakune im Zement.

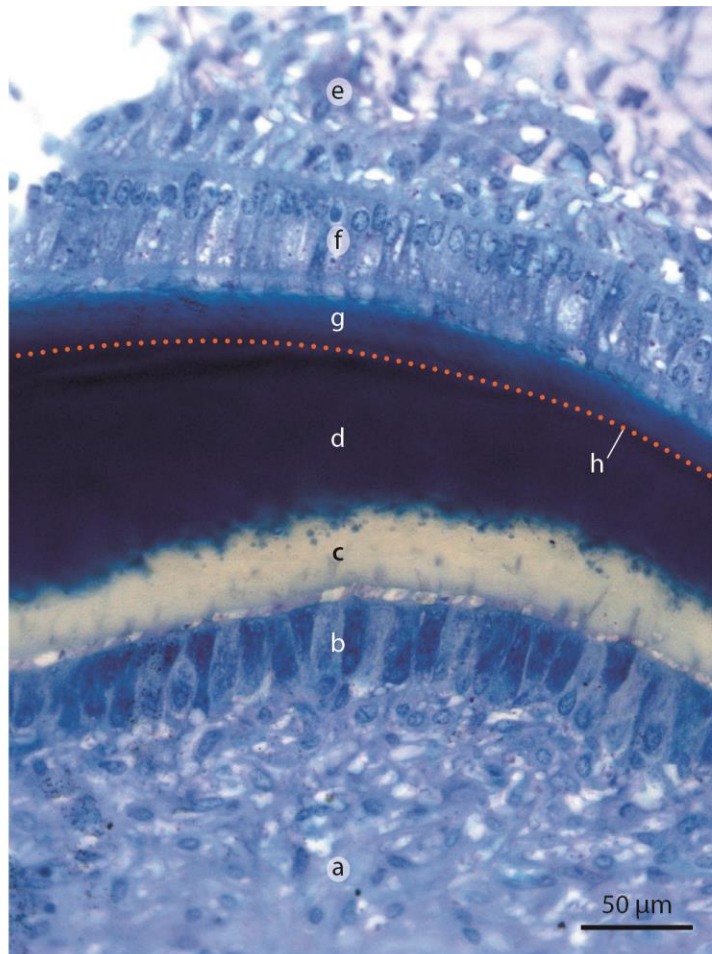


Abb. 36

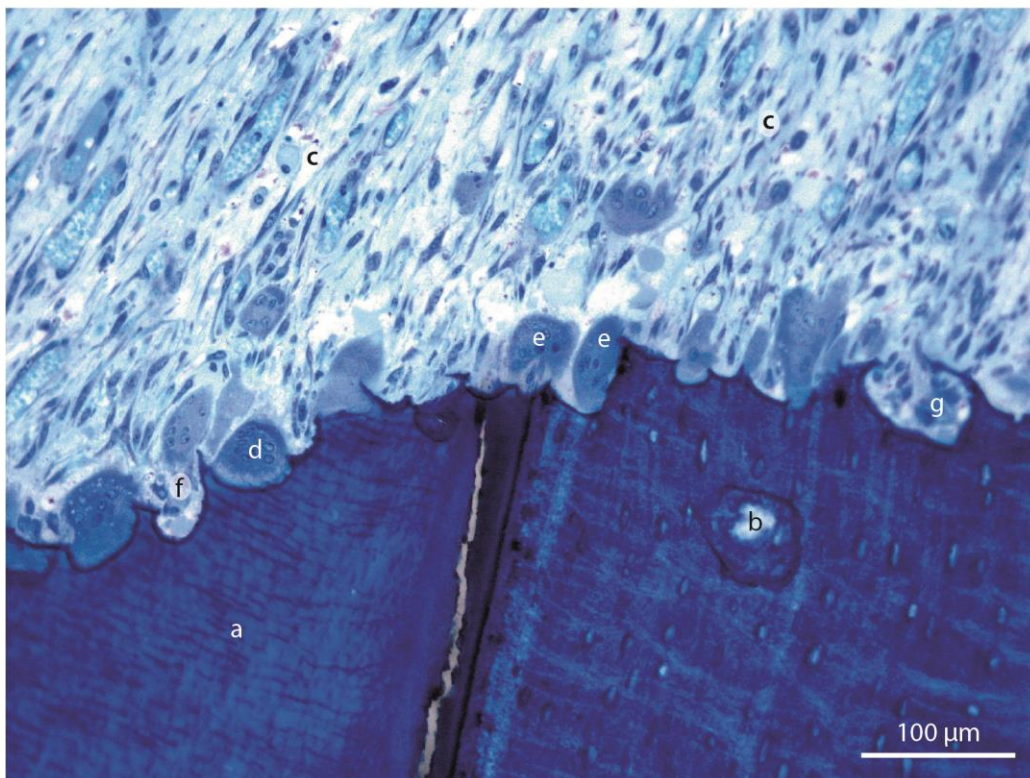


Abb. 37



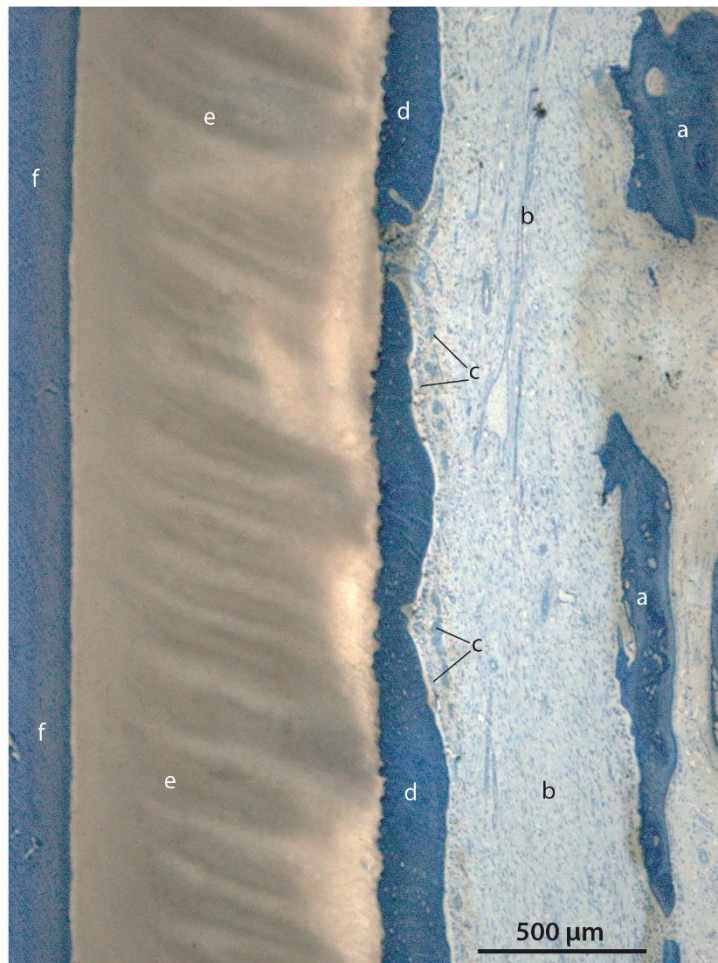


Abb. 38

**Abb. 38:** Zahnschubstanzen mit Periodontium und Alveolarknochen des Ersatzzahn I<sub>1</sub> (101) des rechten Oberkiefers des 2-jährigen Pferdes. Ausschnitt von Abb. 35n, gegen koronal. Giemsa-Färbung. Die dunkle Schattierung im Schmelz deutet die Schmelzprismen an. Die obere Bildseite zeigt gegen apikal.

a Bälkchen des Alveolarknochens; b Periodontium; c Osteoblasten angrenzend an den Zement; d Zement; e Schmelz; f Dentin.

### 7.2.2. Backenzähne des Oberkiefers

Die Backenzähne des Oberkiefers sind in den Abb. 39-50 dargestellt. Dabei wird besonders auf die Prämolaren mit ihren Ersatzzähnen und den Milchzähnen sowie auf den ersten Molaren eingegangen.

Der Ersatzzahn  $P_2$  (106) des rechten Oberkiefers hat im Querschnitt die Form eines nach kaudal offenen V (Abb. 39). Der Zahn läuft gegen rostral spitz zu und scheint so die Form eines Schiffsrumpfes zu haben. Im Präparat erscheint rostral des  $P_2$  (106) die Wurzel eines kleinen Wolfszahnes  $P_1$  (105). Der Schnitt des  $P_2$  (106) liegt 30 mm unter der Kaufläche des Milchzahnvorläufers. Der Zahn ist in seiner physiologischen Umgebung gut dargestellt. Von peripher her sieht man das Zahnfleisch, bukkal und lingual die Kaumuskulatur. Peripher sind der dünne, aber dichte Knochen der Maxilla und seine Knochenbälkchen sichtbar. Innen anliegend befindet sich das Periodontium, das hier eine Stärke von 500  $\mu\text{m}$  bis 1 mm hat.

Zu den Hartsubstanzen: Das Dentin ist umfassend zu erkennen, der peripher liegende Zement ist noch nicht vollständig ausgebildet. Der weisse auffällige Schmelz grenzt die Schmelzfalten und Schmelzbecher deutlich ab. Vor allem die von kaudal und lateral gegen rostral und medial kommende Schmelzfalte ist deutlich zu sehen. Die Schmelzfalten sind vollständig mit Zement gefüllt. Die Form der Schmelzbecher ist mit ihren Ohren, die nach bukkal zeigen, typisch. Es sind zwei Schmelzbecher, ein mesialer (rostraler) und ein distaler (kaudaler) vorhanden. Der mesiale Schmelzbecher ist nicht vollständig mit Zement gefüllt. Im Zentralraum befindet sich Bindegewebe. Die mesiale linguale Falte (Abb. 39t) bildet eine Verbindungsbrücke zum Schmelzbecher.

Die Abb. 40 zeigt vom linken Oberkiefer den Wolfszahn und den dahinter liegenden rostralen Teil des Ersatzzahns P<sub>2</sub> (206) im Längsschnitt. Die Krone des Wolfszahnes hat eine Länge bei 6mm, seine Wurzel ist um 2.5 cm lang. Die Krone ist von Schmelz und Zement bedeckt. Die von Dentin umgebene Pulpahöhle ist um 3 mm weit. Da der Wolfszahn ein einfacher Zahn ist, hat er nur eine Wurzel und keine Schmelzfalten und -becher.

Im kaudalen Teil des Ersatzzahnes vom P<sub>2</sub> (206) sind drei Äste der Pulpahöhlen sowie der tief reichende Schmelzbecher und die kaudale Schmelzfalte getroffen (Abb. 41). Der Milchzahn ist als kurze Kappe (ca. 12 mm) über dem Ersatzzahn zu sehen.

Im Längsschnitt durch den M<sub>1</sub> (209) auf Abb. 42 erkennt man deutlich die Zahnstrukturen. Der periphere Zement und der Schmelz reichen bis apikal. Kronenseitig ist der Zement sehr dick. 10 mm hinter der mesialen Seite ist die Zahnanlage des M<sub>1</sub> (209) um 8 cm lang. Die beiden Pulpahörner 1 (bukkal mesial) und 3 (palatinal mesial) sind weit apikal mit der 12 mm weiten gemeinsamen Pulpahöhle verbunden. Im koronalen Teil der Pulpahöhle wird das neu gebildete Sekundärdentin sichtbar. Die Kunde ist um 6.5 cm lang und hat in der Mitte einen feinen zementfreien Kanal. Gegen apikal sind nur wenig braungefärbte Zementreste vorhanden und der Schmelz scheint aufgelockert. Der Boden des Schmelzbeckers erscheint wie durch Mottenfrass verändert. Über der Wurzel kommt der Nervus infraorbitalis zu liegen. Er ist vom knöchernen Canalis infraorbitalis begrenzt. Angrenzend an die dünne Alveolenwand findet man lateral und medial die beiden Buchten der rostralen Kieferhöhle.

Der M<sub>1</sub> (109) in Abb. 43 zeigt einen vollständigen Querschnitt durch alle Strukturen. Die Schmelzfalten sind geschlossen und komplett von den Schmelzbechern getrennt. Die Pulpahöhlen sind 20 mm unter der Kaufläche unterschiedlich weit, aber alle, eröffnet.

Auf der Höhe von 50 mm unter der Kaufläche kommen in Abb. 44 die Pulpahörner 3, 4 und 5 mit der gemeinsamen Pulpahöhle zusammen. Die Pulpahörner 1 und 2 sind voneinander getrennt. Die beiden Kunden sind mit ihren Ohren deutlich erkennbar. Die mesiale Kunde beinhaltet deutlich weniger Zement als die distale. Die distale Kunde zeigt aber auch schon Verfärbungen und Hohlräume des Zementes. Der Zement sieht Mottenfrass ähnlich aufgelöst aus. Die Schmelzfalten sind komplett mit Zement ausgefüllt.

Palatinal kommt die Kieferhöhle, der Sinus maxillaris rostralis, zum Vorschein. Die Knochensubstanz der Maxilla erscheint unter einer bukkalen Lamelle als locker aufgebaute Spongiosa.

Am Beispiel des 4. Prämolaren P<sub>4</sub> (208) sollen die Bilder zur Entstehung des Ersatzzahnes und seiner Zahnschubstanz zusammengefasst werden (Abb. 45-50). Dazu kommen auch Bilder vom Milchzahn und dessen Abbau. Der Längsschnitt des P<sub>4</sub> (208) geht durch die kaudale Hälfte des Zahnes und liegt 20 mm hinter dessen mesialer Fläche (Abb. 45). Der Ersatzzahn hat eine Länge um 5.5 cm. Der Längsschnitt zeigt das Bindegewebe der weiten Anteile der Pulpahöhlen sowie der kaudalen Längsfalte. Ausserdem sind Anschnitte des kaudalen Schmelzbeckers sowie des noch weiten Periodontium sichtbar. Apikal und bukkal sind als Ausschnitt von Abb. 45s die Zahnglocke und das Zahnsäckchen in den Abb. 46-47 dargestellt.

Aussen an den Knochen der Maxilla angrenzend erkennt man das Epithel der Atmungsschleimhaut der rostralen Kieferhöhle. Darunter folgt der spongiöse Knochen



der Maxilla als äusserer Teil des Zahnsäckchens. Als innerer Teil des Zahnsäckchens erscheint das Bindegewebe mit grossen Blutgefässen des Periodontium. Weiter gegen zentral folgt die Zahnglocke mit dem äusseren Schmelzepithel der Zahnpulpa und dem inneren Schmelzepithel. Weiter zentral liegt die Zahnpapille mit den innen anliegenden zylindrischen Odontoblasten.

Das Schmelzorgan, welches aus ektodermalem Gewebe hervorgeht und zur Bildung des Zahnschmelzes dient, besteht aus dem inneren Schmelzepithel, dem äusseren Schmelzepithel und der Schmelzpulpa. Die Zellen des inneren Epithels entwickeln sich zu Enameloblasten und die Zellen des äusseren Schmelzepithels bilden eine Grenzschicht des Schmelzorganes zum Zahnsäckchen.

Der unter der Mitte des Ersatzzahn gelegene Ausschnitt von Abb. 45s' zeigt in Abb. 48 einen Ausschnitt mit der lateralen Pulpahöhle und einer Bucht des kaudalen Schmelzbechers. Dazu kommt ein schmales Horn der Pulpahöhle. Man erkennt im Schmelzbecher die Enameloblasten, eine noch unverkalkte Vorstufe des Schmelzes sowie die blau angefärbten Vorstufen des Schmelzes und das angrenzende dunkelgefärbte Dentin.

Die Milchzahnkappe misst zentral 15mm. Sie hat lateral und medial je eine lange Wurzel von 20 mm lateral beziehungsweise 12 mm medial. Der Milchzahnrest zeigt den apikalen Teil des Schmelzbechers und palatinal den vollständigen Rest der Schmelzfalte. Die Spitze des Ersatzzahn ragt als Ausschnitt aus Abb. 45z gegen den apikalen Teil des Milchzahnes, an dem zahlreiche Osteoklasten Dentin und Zement abbauen.

### 7.2.3. Backenzähne des Unterkiefers

Die an die Backenzähne des Unterkiefers (Abb. 50-52) angrenzende Mandibula zeigt peripher eine sehr kompakte Struktur. An das Periost angrenzend erkennt man beim 4. Prämolaren  $P_4$  (308) wieder sehr dünne Knochenbälkchen (Abb. 51). Diese Abbildung ist ein Längsschnitt durch die rostrale Hälfte des  $P_4$  (308) vom linken Unterkiefer, an der die Struktur der umgebenden Mandibula gut ersichtlich ist.

Die Zahnanlage des Ersatzzahns  $P_4$  (308) hat eine Länge um 4.5 cm. Ihr koronales Ende liegt 15 mm unter dem Rand des Zahnfleisches. Der Milchzahn hat lateral noch eine ca. 20 mm lange Wurzel. Der mit dem Milchzahn  $P_{d4}$  (708) noch verbundene mediale Wurzelteil hat nur noch eine Länge von 6 mm. Der zentrale Teil ist um 12 mm hoch. An den Seitenflächen des Milchzahns fällt der dicke periphere Zement auf.

Am Ersatzzahn ist bukkal mesial eine weite Pulpahöhle getroffen. Zentral erkennt man das Bindegewebe der von Schmelz und seinen Vorstufen begrenzten rostralen Schmelzfalte (51n). Nur koronal an dieser Schmelzfalte liegt innen noch wenig Zement an (51p).

Die Bildung der Zahnsubstanzen am apikalen Ende der Zahnanlage zeigt Abb. 50 bei starker Vergrößerung als Ausschnitt von Abb. 51w. Man erkennt rechts im Bild das Bindegewebe der Pulpahöhle, daneben die Odontoblasten und das dunkel angefärbte Dentin. Auf der linken Seite des Bildes, das heisst am Innenrand der Schmelzfalte, sieht man das äussere Schmelzepithel, die Schmelzpulpa sowie das innere Schmelzepithel als Enameloblasten. Nebenan befinden sich die von den Enameloblasten gebildeten Vorstufen des Schmelzes. Der unverkalkte Teil erscheint hell, der dunkelgefärbte Teil spricht für ein frühes Stadium der Verkalkung. An der noch sichtbaren Grenzlinie (50i) müssen Dentin und der Schmelz fest verbunden sein.

Ventral und lateral am Knochen der Mandibula liegt der von einer Arterie begleitete Nervus alveolaris inferior des Nervus mandibularis. Der grosse Hohlraum unter der Zahnanlage ist sehr auffallend im Gegensatz zu den ventral folgenden zahlreichen Spongiosabälkchen.

Über dem koronalen Ende des Ersatzzahns wurden mikroskopisch im apikalen Teil des Milchzahnes ebenfalls Osteoklasten nachgewiesen, ähnlich wie sie am Milchzahn des Backenzahnes  $P_{d4}$  (508) in Abb. 49 dargestellt wurden.

Ein Querschnitt durch die Ersatzzahnanlage des  $P_3$  (407) und des  $P_4$  (408) zeigt die Schmelzfalten und die verschiedenen Äste der Pulpahöhle deutlich (Abb. 52). Der Schnitt liegt 4 cm unter der Kaufläche des Milchzahnes und 15 mm über der Mitte der Ersatzzahnanlage. Die rostrale Schmelzfalte ist kleiner, die kaudale Schmelzfalte hat im Querschnitt die Form eines T. Im  $P_3$  (407) sind die Schmelzfalten schon in dieser Ebene bereits weitgehend mit Zement gefüllt, während sie im kaudal liegenden  $P_4$  (408), der erst später durchbricht, noch weitgehend von Bindegewebe ausgefüllt sind. Im Innern der Pulpahörner sind Bindegewebe und wenig Dentin zu sehen.

An der umgebenden Mandibula zeigt sich wieder die dichte, periphere Zone des Knochens und die aus feinen Knochenbälkchen bestehende, aussen dem Zahn anliegende, Spongiosa. Auch das Periodontium ist samt seinen Verbindungen zu den Schmelzfalten gut zu erkennen.

Als Beispiel eines Molaren wurde auch der  $M_3$  (311) am Unterkiefer untersucht. Er ist im Längsschnitt 7.0 cm lang. Koronal ist der Knochen der Mandibula stellenweise durchbrochen. Die spätere Krone des Zahnes liegt 10 mm unter dem freien Rand des

Zahnfleisch. Apikal der Zahnanlage sind jeweils ausser der Pulpa die Schmelzbildner des inneren Schmelzepithels sowie auch die Reste der Schmelzpulpa und des äusseren Schmelzepithels vorhanden. Auf eine Abbildung dieses Zahnes wurde hier verzichtet.

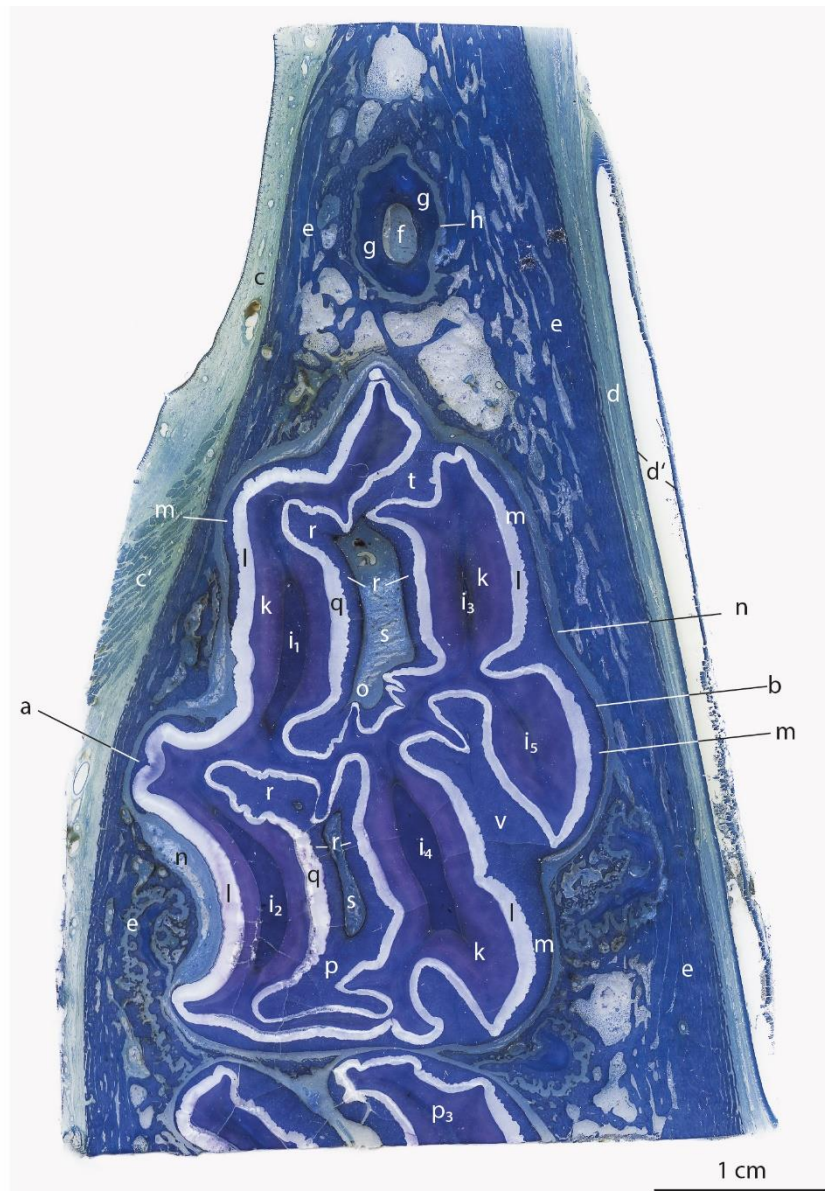


Abb. 39

**Abb. 39:** Querschnitt durch den apikalen Teil des Wolfszahnes (105) und des Ersatzzahnes des P<sub>2</sub> (106) sowie Anschnitt des P<sub>3</sub> (107) ca. 30 mm unter der Kaufläche des Milchzahnes. Ansicht von ventral und rostral. Giemsa-färbung.

a bukkale Seite, b palatinale Seite des P<sub>2</sub> (106); c Zahnfleisch bukkal, c' Muskulatur; d Zahnfleisch palatinal, Bindegewebe mit längs getroffener Arterie (d'); e Knochen der Maxilla; f-h Wurzel des Wolfszahnes: f Pulpahöhle, g Wand aus Dentin und Zement, h Periodontium;

i<sub>1</sub>-i<sub>5</sub> Pulpaäste des P<sub>2</sub> (106) mit dichtem Bindegewebe; k Dentin; l Schmelz (hell); m peripherer Zement; n Periodontium; o-p Schmelzbecher, Kunden: beachte die ohrenähnliche Form mit nach bukkal zeigenden Enden; o rostraler, p kaudaler Schmelzbecher; q-s Wand und Innenraum der Schmelzbecher: q Schmelz, r Zement, s Bindegewebe des Zentralraums; t von rostral kommende Schmelzfalte mit Verbindung zur Kunde; v kaudale Schmelzfalte, von kaudal und palatinal eingestülpt, mit Zement im Innern.



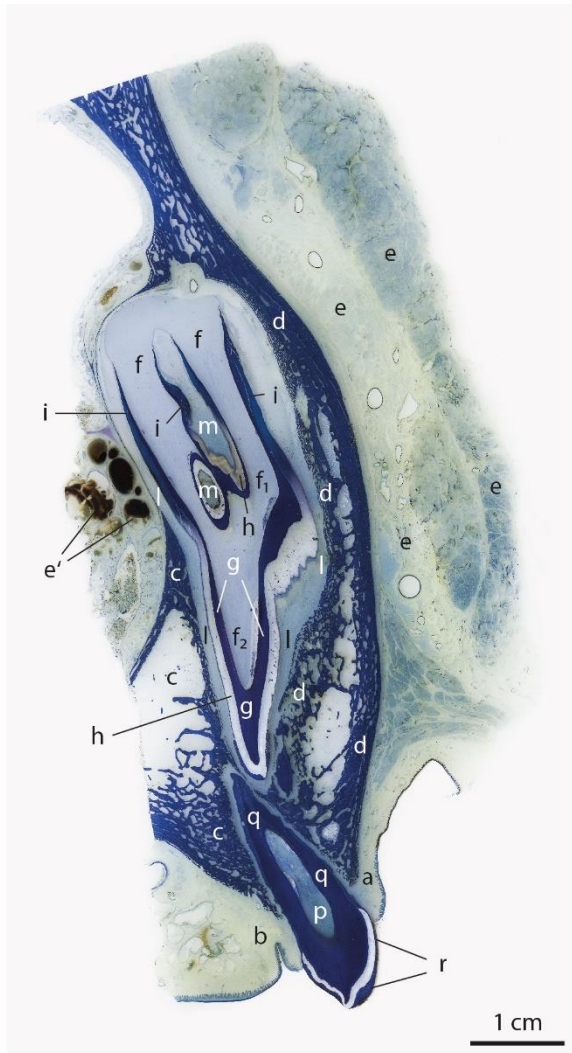


Abb. 40

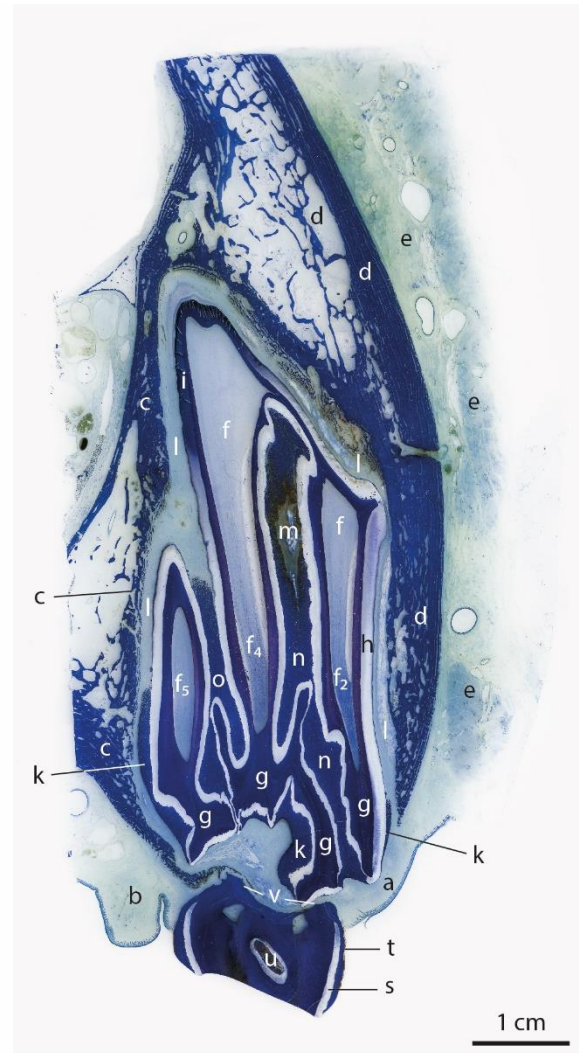


Abb. 41

**Abb. 40:** Längsschnitt durch den Wolfszahn P<sub>1</sub> (205) und den rostralen = mesialen Teil des Ersatzzahnnes vom P<sub>2</sub> (206) des linken Oberkiefers des 2-jährigen Pferdes. Ansicht von rostral. Giemsa-Färbung. Siehe Legende Abb. 41.

**Abb. 41:** Längsschnitt durch den Milchzahn des P<sub>d2</sub> (606) und des kaudalen = distalen Teils vom Ersatzzahn des P<sub>2</sub> (206) vom linken Oberkiefer des 2-jährigen Pferdes. Ansicht von rostral. Giemsa-Färbung.

a Zahnfleisch bukkal; b Zahnfleisch palatinal; c-d Knochen der Maxilla: c am harten Gaumen, d bukkal – beachte die stellenweise dünnen, an das Periodontium angrenzenden Knochenbälkchen; e Weichteil der Backe: Bindegewebe und Muskulatur, e' Venengeflecht im Gaumen; f Bindegewebe der Pulpahöhle und ihrer Äste.

g Dentin (blau); h Schmelz (hell); i Vorstufen des Schmelzes, apikal; k peripherer Zement; l Periodontium; m-n Schmelzbecher des Ersatzzahnnes: m Bindegewebe n Zement im Innern; o Zement innen an der kaudalen Schmelzfalte; p-r Wolfszahn: p Pulpahöhle, q Wand der Wurzel aus Dentin und Zement, r Krone mit von Zement bedecktem Schmelz; s-v an der Kappe des Milchzahnnes: Krone mit Schmelz (s) und Zement (t); u Zement im Rest eines Schmelzbechers; v apikaler Teil des Milchzahnnes.

f<sub>1</sub>-f<sub>5</sub>: Pulpaäste: 1 bukkal mesial, 2 bukkal distal, 3 palatinal mesial; 4 palatinal distal; 5 palatinal Mitte.

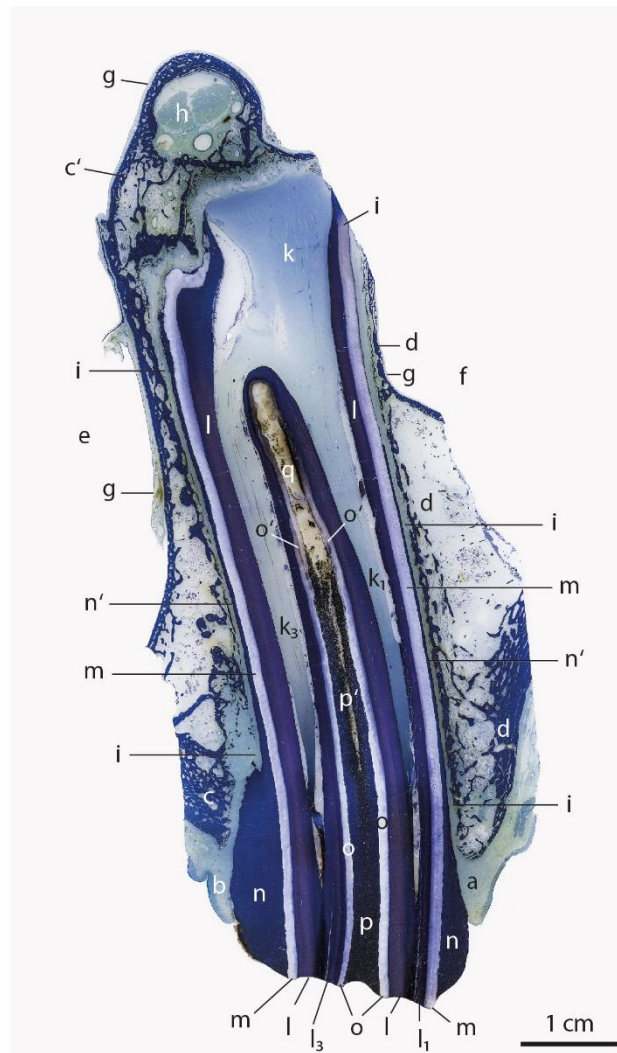


Abb. 42

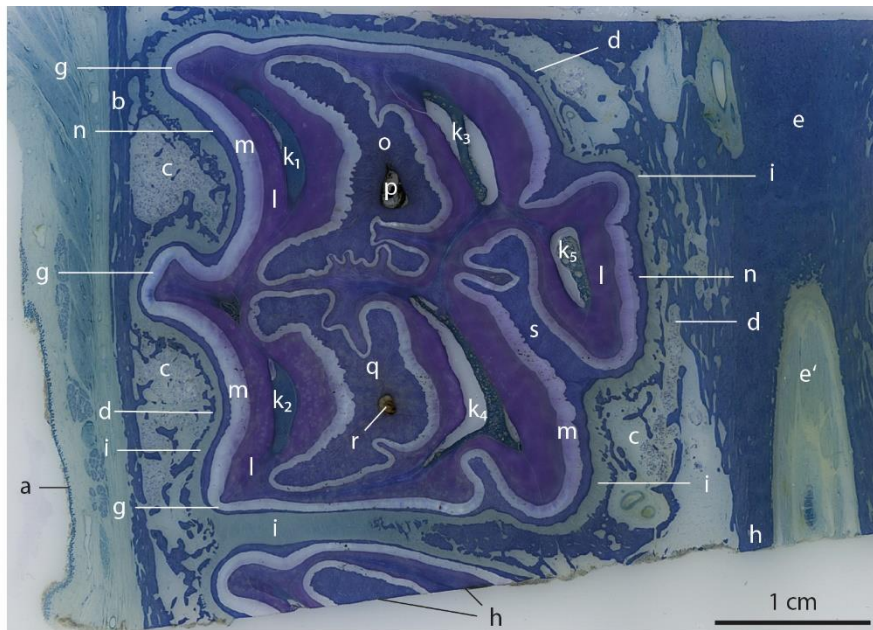
**Abb. 42:** Längsschnitt durch den ersten Molaren M<sub>1</sub> (209) vom linken Oberkiefer des 2-jährigen Pferdes. Der Schnitt liegt in der rostralen Hälfte des Backenzahnes, ca. 10 mm hinter seiner mesialen Fläche. Ansicht von rostral. Giemsa-färbung.

a Zahnfleisch bukkal; b Zahnfleisch palatinal; c-d Knochen der Maxilla: c am harten Gaumen, c' palatinal dorsal, d bukkal; e-g rostrale Kieferhöhle: e palatinale Bucht, f bukkale Bucht, g Schleimhaut; h N. infraorbitalis; i Periodontium, beachte auch die anliegenden sehr dünnen Knochenlamellen.

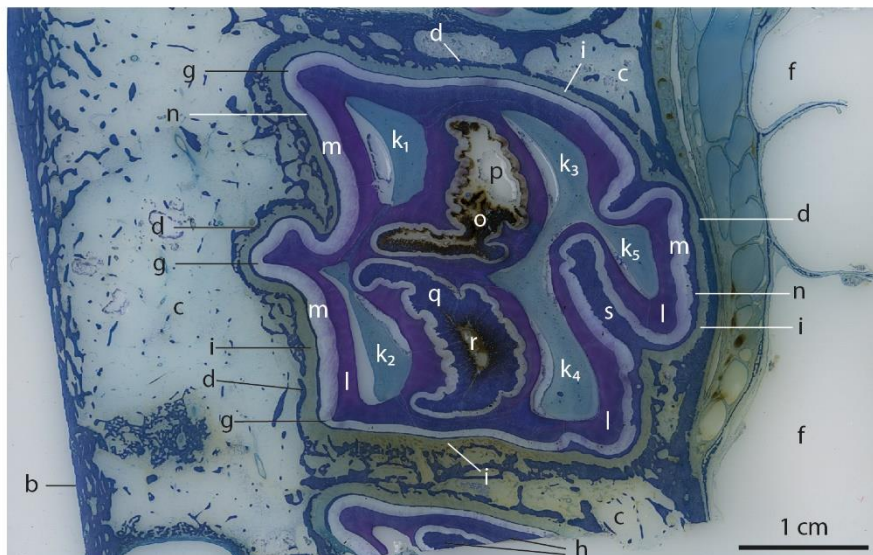
k gemeinsame Pulpahöhle und ihre Äste: k apikaler Teil, k<sub>1</sub> bukkaler mesialer Ast, k<sub>3</sub> palatinaler mesialer Ast; l Dentin, l<sub>1</sub> Ersatzdentin bukkal mesial, l<sub>3</sub> Ersatzdentin palatinal mesial; m Schmelz (hell); n peripherer Zement, koronal, n' dünner Zement apikal;

o-q Schmelzbecher: o Schmelzrand, o' Schmelz apikal, noch wenig verkalkt; p Innenraum des Schmelzbeckers: p vollständig mit Zement gefüllt, p' teilweise mit Zement gefüllt; q apikaler Innenraum des Schmelzbeckers, mit wenig Bindegewebe weitgehend hohl.





**Abb. 43**



**Abb. 44**

**Abb. 43:** Querschnitt durch den ersten Molaren M<sub>1</sub>(109) vom rechten Oberkiefer des 2-jährigen Pferdes. Der Schnitt liegt ca. 20 mm unter der Kaufläche. Giemsaefärbung.  
Legende siehe Abb. 44.

**Abb. 44:** Querschnitt durch denselben Zahn M<sub>1</sub> (109) weiter apikal, ca. 50 mm unter der Kaufläche. Giemsaefärbung.

a Schleimhaut, bukkale Seite; b-d Maxilla: b bukkale Lamelle c Spongiosa, d dünne innere Knochenlamellen; e palatinaler Knochen mit Gaumenarterie (e'); f Kieferhöhle; g bukkale Kanten des M<sub>1</sub> (109); h kaudaler Rand des Präparates mit Anschnitt des M<sub>2</sub> (110); i Periodontium.

k Äste der Pulpahöhle = Pulpahörner k<sub>1</sub>-k<sub>5</sub>; l Dentin; m Schmelz (hell); n peripherer Zement; o-p rostral = mesialer Schmelzbecher: o seine Zementfüllung, p Hohlraum; q-r kaudaler = distaler Schmelzbecher: q Zement; r Hohlraum; beachte die grösseren Hohlräume in Abb. 44s kaudale Schmelzfalte.

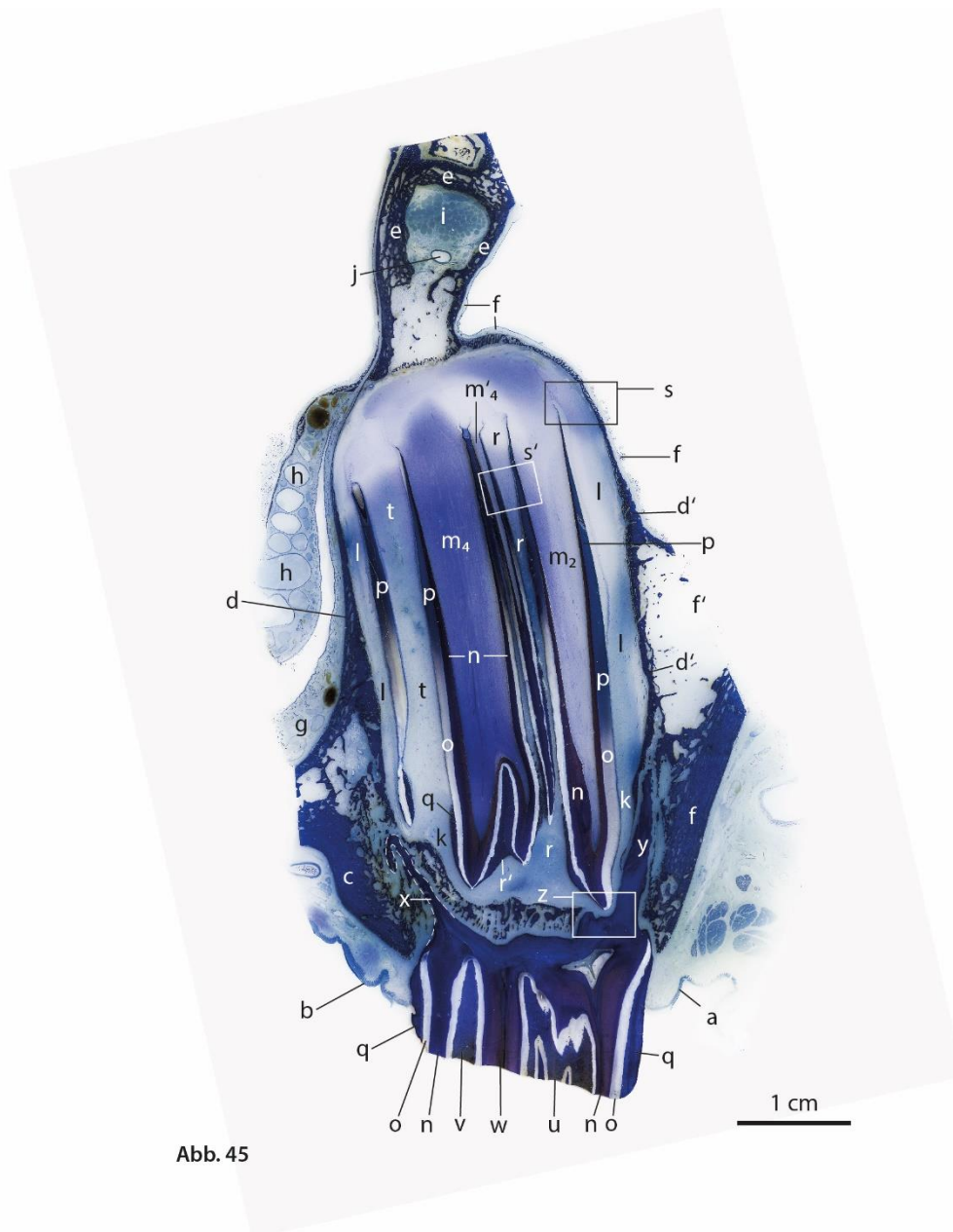


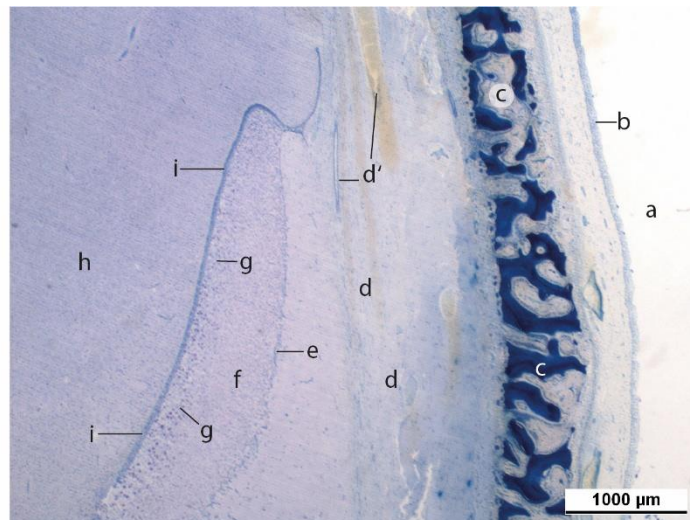
Abb. 45

**Abb. 45:** Längsschnitt durch die kaudale Hälfte des Milchzahns Pd<sub>4</sub> (608) und des darunter liegenden Ersatzzahnes P<sub>4</sub> (208) vom linken Oberkiefer des 2-jährigen Pferdes. Der Schnitt liegt ca. 20 mm hinter der rostralen = mesialen Fläche des Zahnes. Giemsaefärbung.

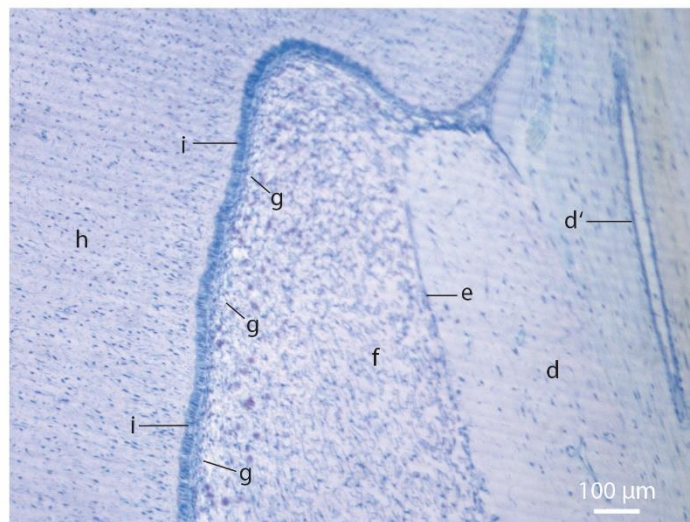
a Zahnfleisch bukkal; b Zahnfleisch palatinal; c-e Knochen der Maxilla: c am harten Gaumen, d palatinal, d' bukkal das Zahnfach begrenzend, e den Canalis infraorbitalis umgebend; f rostrale Bucht der Kieferhöhle, ausgekleidet mit Atmungsschleimhaut; g ventrale Nasenschleimhaut; h Schleimhaut der ventralen Nasenmuschel mit weiten Venen; i N. infraorbitalis, begleitet von der A. infraorbitalis (j).

k-l Periodontium: k koronal, l apikal = Teil des Zahnsäckchens; m Bindegewebe der Pulpaäste m<sub>2</sub>, m<sub>4</sub> mit zusätzlichem Ast m'<sub>4</sub>; n Dentin (dunkel); o Schmelz (hell); p Vorstufen des Schmelzes; q peripherer Zement; r kaudaler Schmelzbecher, r' seine mediale Falte; s Ausschnitt Abb. 46-47, s' Ausschnitt Abb. 48; t kaudale Schmelzfalte; u-y am Milchzahn: u kaudaler Schmelzbecher; v kaudale Schmelzfalte; w Ersatzdentin; x medialer Wurzelrest (nachgezeichnet); y lateraler Wurzelrest; z Ausschnitt Abb. 49.





**Abb. 46**



**Abb. 47**

**Abb. 46:** Zahnglocke und Zahnsäckchen vom apikalen und bukkalen Teil des Ersatzzahnes P<sub>4</sub> (208). Ausschnitt aus Abb. 45s. Giemsa-Färbung.

**Abb. 47:** Detail der Zahnglocke als Ausschnitt von Abb. 46.

a-b rostrale Kieferhöhle, a Kieferhöhle, b Epithel der Atmungsschleimhaut; c Knochen der Maxilla, hier äusserer Teil des Zahnsäckchens; d innerer Teil des Zahnsäckchens mit grossen Blutgefässen (d'); e-i apikaler Teil der Zahnglocke, e-g Schmelzepithel: e äusseres Schmelzepithel, f Schmelzpulpa; g inneres Schmelzepithel; h-i Zahnpapille:

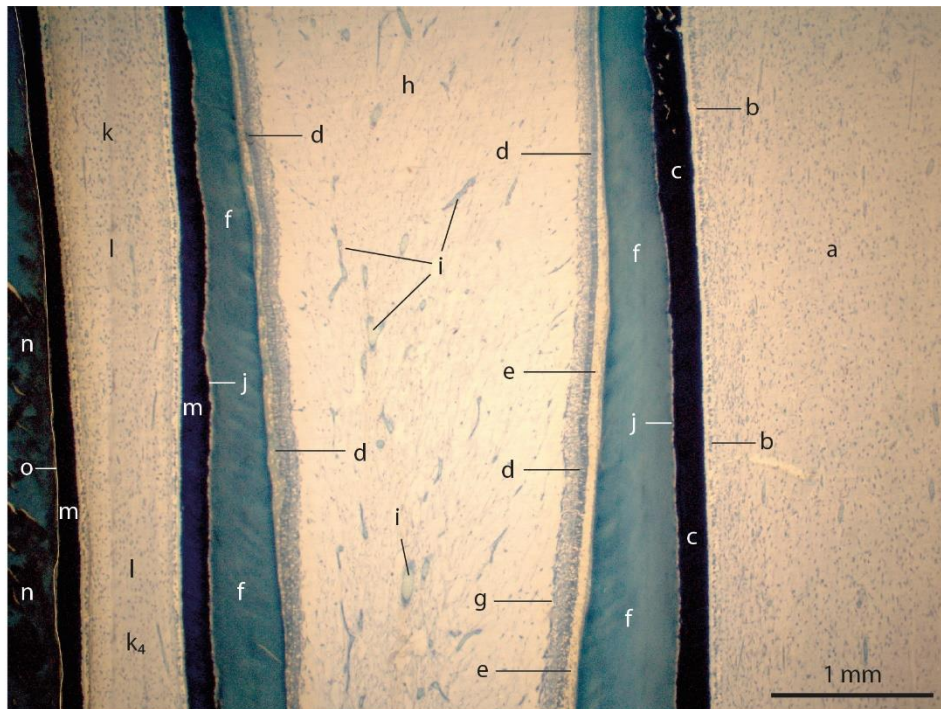


Abb. 48

**Abb. 48:** Längsschnitt durch den apikalen Bereich der kaudalen Hälfte des Ersatzzahnes P<sub>4</sub> (108) mit dem lateralen Pulpaast, der Einfaltung des kaudalen Schmelzbeckers sowie dem zusätzlichen medialen Ast der Pulpa. Ausschnitt aus Abb. 45s'. Giemsa-Färbung.

a Bindegewebe der lateralen Pulpahöhle (a<sub>2</sub>), b Odontoblasten; c Dentin (dunkel); d-h Bucht des kaudalen Schmelzbeckers: d Enameloblasten des inneren Schmelzepithels; e unverkalkte Vorstufe des Schmelzes, f Vorstufen des Schmelzes mit Verkalkung (blau), g Rest des äusseren Schmelzepithels; h-i Bindegewebe (h) des Zahnsäckchens mit Blutgefässen (i); j Grenzlinie zwischen Dentin und Schmelz.

k-n schmaler Zusatzast der medialen Pulpahöhle (k<sub>4</sub>): k ihr Bindegewebe, l ihre Odontoblasten; m Dentin; n Schmelzvorstufe der medial angrenzenden kaudalen Schmelzfalte; o eingezeichnete Grenzlinie zwischen Dentin und der Vorstufe des Schmelzes.



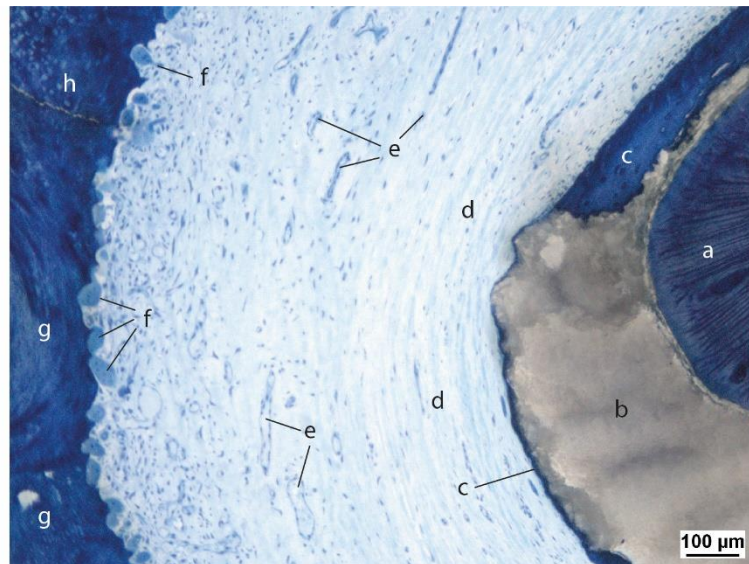


Abb. 49

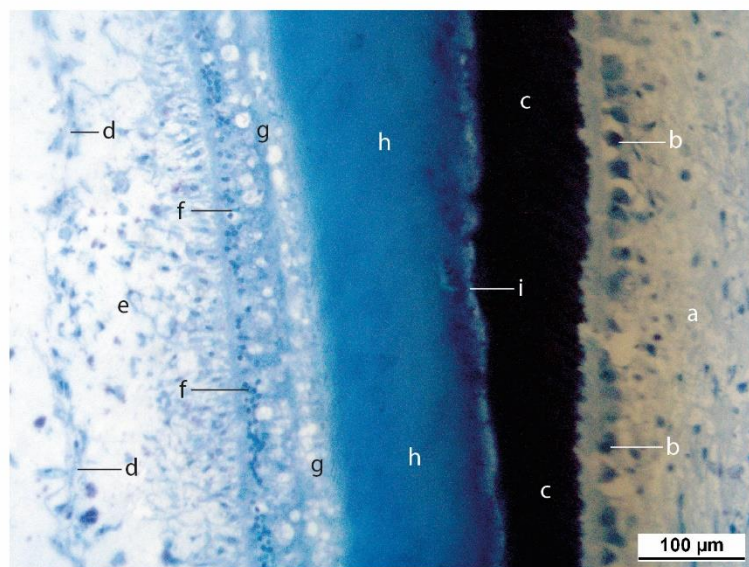


Abb. 50

**Abb. 49:** Kronenspitze der lateralen Kaufläche des Ersatzzahnes P4 (208) mit angrenzendem Periodontium des Zahnfaches und dem apikalen Teil des Milchzahns Pd4 (608) und den anliegenden Osteoklasten. Ausschnitt aus Abb. 45z. Giemsaefärbung.

a-c Kronenspitze des Ersatzzahns: a Dentin, b Schmelz, c peripherer Zement; d-e Periodontium: d Bindegewebe mit parallel zur Kaufläche ziehenden Fasern, e Blutgefässe; f Osteoklasten an Lakunen des Milchzahnes; g-h Milchzahn apikal: g Dentin, h Zement.

**Abb. 50:** Dentin- und Schmelzbildung im apikalen Teil der rostralen Schmelzfalte des Ersatzzahns vom P4 (208) vom linken Unterkiefer des 2-jährigen Pferdes. Ausschnitt aus Abb. 51w. Giemsaefärbung.

a Bindegewebe der Zahnpapille; b Odontoblasten; c Dentin; d äusseres Schmelz-epithel, Rest; e Schmelzpulpa; f inneres Schmelzepithel, Enameloblasten; g unverkalkte Vorstufe des Schmelzes; h verkalkte Vorstufe des Schmelzes; i Grenzlinie zwischen Dentin und der Vorstufe des Schmelzes.

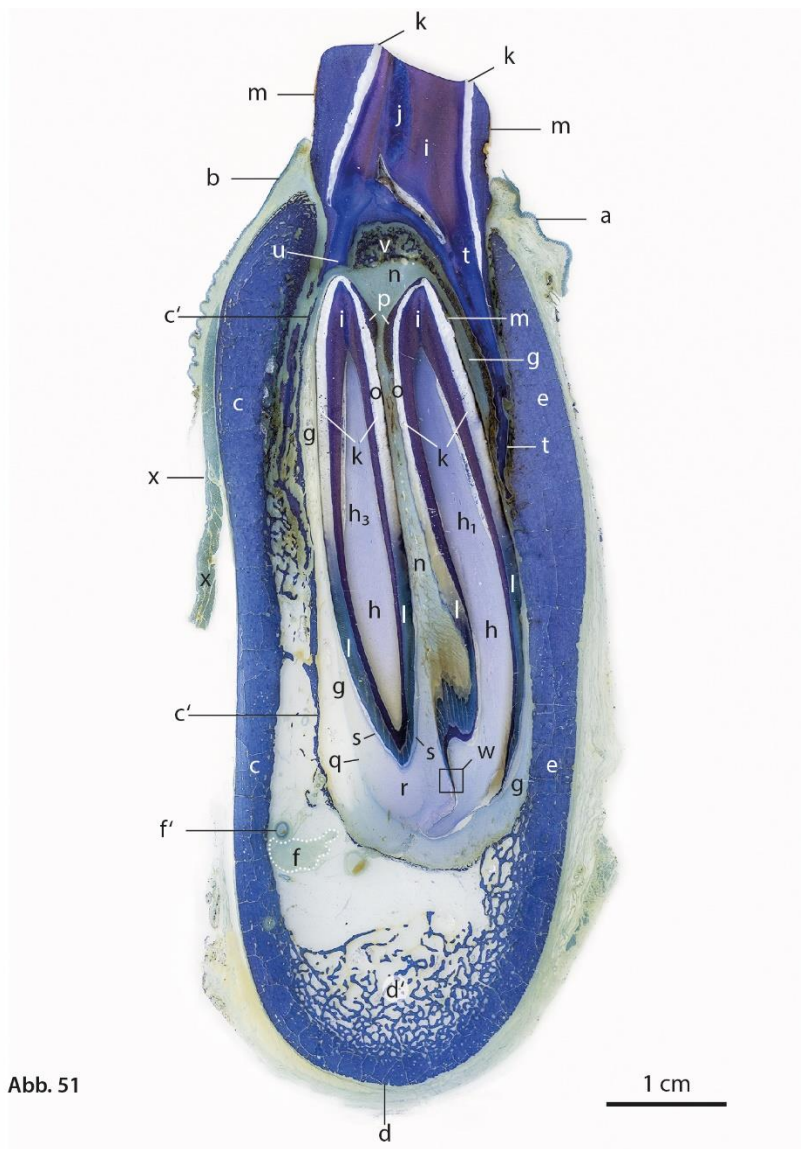


Abb. 51

**Abb. 51:** Längsschnitt durch die rostrale Hälfte des Milch- und Ersatzzahn des 4. Prämolaren P<sub>4</sub> (308) aus dem linken Unterkiefer des 2-jährigen Pferdes. Ansicht von rostral. Der Schnitt befindet sich um 10 mm kaudal der rostralen = mesialen Fläche des Zahnes. Giemsa-Färbung.

a bukkales Zahnfleisch; b linguales Zahnfleisch; c-e Knochen der Mandibula: c linguale Seite, c' dünne Knochenbälkchen angrenzend an das Periodontium, d ventraler Rand mit innen liegender Spongiosa (d'), e laterale Seite; f N. alveolaris inferior (Umriss gepunktet) mit begleitender Arterie (f'); g Periodontium.

h Bindegewebe der Pulpahöhle: h<sub>1</sub> bukkal mesial, h<sub>3</sub> lingual mesial; i Dentin (dunkel); k Schmelz (hell); l Vorstufen des Schmelzes (blau); m peripherer Zement; n-p rostrale Schmelzfalte mit zentralem Bindegewebe (n), o Schmelz, p Zement; q-s apikale Teile der Zahnglocke: q äusseres Schmelzepithel, r Schmelzpulpa, s inneres Schmelzepithel; t-u apikale Teile des Milchzahns: t bukkale Wurzel mit langem Ende (nachgezeichnet), u linguale Wurzel, über der Spitze des Ersatzzahns sind Osteoklasten vorhanden, nur stärker vergrößert sichtbar; v Knochenbälkchen des Zahnfachs, den Ersatzzahn bedeckend; w Ausschnitt Abb. 50; x Muskulatur lingual.



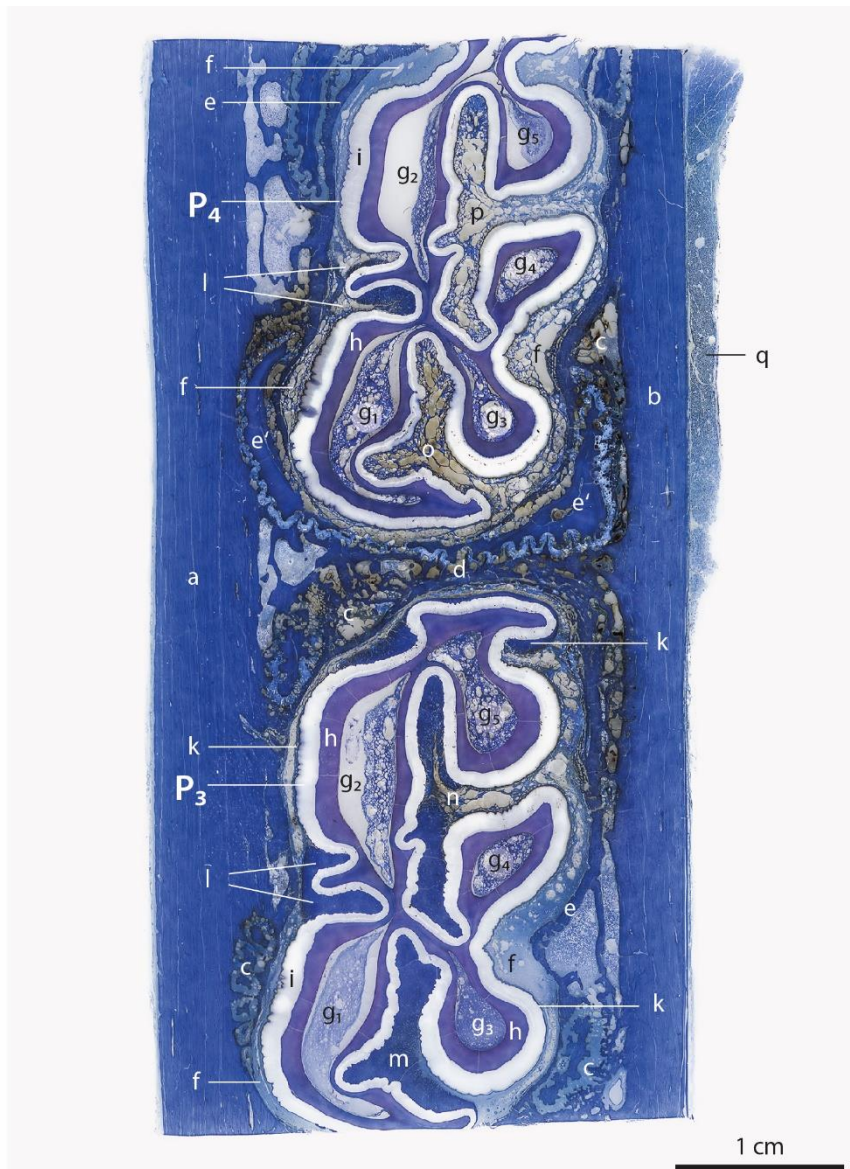


Abb. 52

**Abb. 52:** Querschnitt durch die Ersatzzähne des 3. Prämolaren P<sub>3</sub> (407) und des 4. Prämolaren P<sub>4</sub> (408) vom rechten Unterkiefer des 2-jährigen Pferdes. Der Schnitt befindet sich ca. 40 mm unter der Kaufläche des Milchzahnes und 15 mm über der Mitte des Ersatzzahnes. Ansicht von dorsal. Giemsaefärbung.

a-e Knochen der Mandibula: a bukkale Seite, b linguale Seite, c Spongiosa, d Spongiosa an Kontaktfläche; e Knochen der Alveolarwand, e' beginnende Verknöcherung an Alveolarwand; f Periodontium; g Bindegewebe der Pulpahöhlen g<sub>1</sub>-g<sub>5</sub>.

h Dentin; i Schmelz (hell); k peripherer Zement; l bukkale Schmelzfalten gefüllt mit Zement; m-n linguale Schmelzfalten am P<sub>3</sub>, gefüllt mit Zement: m rostrale Falte, n kaudale, T-förmige Falte; o-p linguale Schmelzfalten am P<sub>4</sub>: o Rostrale aus Bindegewebe mit dünnem Zementrand, p Kaudale mit Bindegewebe im Innern; q Muskulatur innen an der Mandibula.



### 7.3. Befunde vom 13-jährigen Pferd am Ende des Längenwachstums der Zähne

#### 7.3.1. Schneidezähne von Unterkiefer und Oberkiefer

Das Gebiss eines Pferdes nach dem Längenwachstum zeichnet sich durch verschiedene Merkmale aus: Die **Schneidezähne** stehen in einem relativ spitzen Winkel zueinander und von den Schmelzbechern ist in der Regel nur noch der Boden der Kunde sichtbar. Diese Kundenspur hat im Oberkiefer eine Tiefe von 6 mm und im Unterkiefer eine Tiefe von 3 mm. An den Schneidezähnen des Unterkiefers fällt vor allem der relativ gerade Verlauf des  $I_1$  (301) mit einer Gesamtlänge von 5.5 cm auf. Dagegen ist der  $I_1$  (201) des Oberkiefers, mit einer Gesamtlänge bei 6.0 cm, noch deutlich gekrümmt (Abb. 53-54). Die Wurzeln beider Schneidezähne, bestehend nur noch aus Dentin und Zement, sind in beiden Kiefern schon sehr lang und messen im Oberkiefer ca. 30 mm und im Unterkiefer um 25 mm. Die Pulpahöhlen und der Bereich der Wurzeln sind eingengt.

Die **Querschnitte durch die Schneidezähne** des rechten Unterkiefers zeigen zunächst eine dreieckige und weiter apikal eine längsovale Form. In Abb. 55 liegt der Querschnitt des  $I_1$  (401) um 20 mm unter der Kaufläche. Hier umgibt der Schmelz noch fast vollständig das Dentin. Der Querschnitt desselben Zahnes in Abb. 56, 3.5 cm unter der Kaufläche, ist längsoval. Hier ist grösstenteils nur noch die Wurzel aus Dentin und Zement zu sehen. Lediglich labial ist noch ein Rest des Schmelzes vorhanden. Die längsovale Pulpahöhle ist bereits sehr eng und nur noch um 1 mm weit. Der grossflächig umgebende Knochen weist auf die apikal weiter werdenden Abstände zwischen den Schneidezähnen hin.

#### 7.3.2. Backenzähne von Unterkiefer und Oberkiefer

Die **Kronen der Backenzähne** stehen auch beim 13-jährigen Pferd nahe beieinander und haben zwischen Kontaktflächen noch keinen Abstand, so dass hier die äusserste Zementschicht oft abgerieben ist. Die Backenzähne sind aber im Oberkiefer wie auch im Unterkiefer weniger lang als bei den jüngeren Pferden. Der **Backenzahn des linken Unterkiefers**  $P_4$  (308) in Abb. 57 hat eine Länge bei 7.5 cm. Davon ist der schmelzhaltige Zahnkörper etwa um 6.0 cm lang. Die eigentliche Wurzel aus Dentin und Zement misst nur 10-15 mm. In weiteren hier nicht gezeigten Längsschnitten sieht man noch die weiter gegen ventral vorragenden engen Wurzelspitzen, die auf das Ende des Längenwachstums der Zähne hinweisen. Im Vergleich zum  $P_4$  des 2-jährigen Pferdes (Abb. 51) fällt hier beim 13-jährigen Pferd auch der recht grosse Abstand zwischen dem Beginn der Zahnwurzel und dem ventralen Kieferrand auf. Durch Abrieb und weiteres Hochwachsen des Zahnes würde dieser Abstand mit zunehmendem Alter noch grösser.

An den Seiten der Zahnkrone ist der periphere Zement sehr dick und gegen apikal nur noch als dünne Linie innen am Periodontium zu erkennen. In der Spongiosa unter der Wurzelspitze sieht man den kräftigen N. alveolaris inferior des N. mandibularis begleitet von einer grossen Arterie.

Der Querschnitt durch den  $P_4$  (408) vom rechten Unterkiefer (Abb. 58), zeigt 25 mm unter der Kaufläche die mit Zement vollständig gefüllten Schmelzfalten sowie alle offenen Äste der Pulpahörner. Auch hier sind angrenzend an den peripheren Zement noch sehr dünne Knochenbälkchen vorhanden, während der weiter peripher liegende

Knochen der Mandibula eine sehr kompakte Struktur aufweist. Weiter apikal zeigt der Querschnitt von Abb. 57, 7.2 cm unter der Kaufläche und 10 mm über der Wurzelspitze, zwei Wurzeln des Zahnes, die etwa 15 mm voneinander entfernt sind. Jede Wurzel enthält zwei Pulpahörner, die jeweils 1mm weit sind. An der lingualen Seite ist noch der kräftige Nervus alveolaris inferior vorhanden.

Bei den **Backenzähnen des Oberkiefers** zeigt Abb. 60 einen Längsschnitt durch die rostrale Hälfte des P<sub>4</sub> (208). Der Zahn ist um 8.5 cm lang und sein apikaler Teil wölbt sich deutlich in die ihn umgebende Kieferhöhle vor. Gegen lateral ist ein Schmelzbecher getroffen. Gegen medial wird die rostrale Schmelzfalte sichtbar. Die Krone des Zahnes erscheint relativ kurz und der Schmelz ist seitlich von kräftigem peripherem Zement umgeben. Im apikalen Bereich erkennt man die Aufteilung der gemeinsamen Pulpahöhle in zwei Äste. Der Wurzelteil ist um 20 mm lang. Lateral anliegend am apikalen Teil des Zahnes ist im Knochen der Maxilla der Tränennasengang sichtbar. Dorsal über dem Anschnitt der Kieferhöhle verläuft der Nervus infraorbitalis in seinem knöchernen Kanal der Maxilla (Canalis infraorbitalis).

Die Abb. 61 und 62 zeigen als Ausschnitt von 60z auch beim 13-jährigen Pferd die wichtigen Strukturen zur **Verankerung des Zahnes** in der Alveole. Die im Periodontium vom Alveolarknochen zum Zement ziehenden Fasern färben sich mit Toluidinblau besonders deutlich an. Das Eintreten der schräg gegen apikal verlaufenden Fasern in den Zement ist in Abb. 62 besonders gut sichtbar. Weiter erkennt man die Kerne der Fibrozyten (62e) und die sie umgebenden zirkulär verlaufenden Faserbündel.

Der **Längsschnitt des 1. Molaren** vom linken Oberkiefer M<sub>1</sub> (209), in Abb. 63 dargestellt, liegt in der kaudalen Hälfte. Er hat eine Länge von 6 cm und lässt in der Mitte zwischen zwei Pulpaästen einen mit Zement gut gefüllten Schmelzbecher erkennen.

Über den bindegewebigen Pulpaästen zieht das Sekundärdentin in Richtung der Kaufläche. Die Krone ist auch hier recht kurz und die Kaufläche etwas nach lateral geneigt. Die innersten Teile des Knochens der Alveole zeigen überwiegend dünne Knochenbälkchen. Eine Lamina dura ist hier nicht nachzuweisen. Auf der palatinalen Seite erscheint noch ein Querschnitt der A. palatina major. Im apikalen Bereich des Zahnes sieht man gegen dorsal und lateral die Buchten der Kieferhöhle. Gegen medial erscheint die Schleimhaut der ventralen Nasenmuschel.

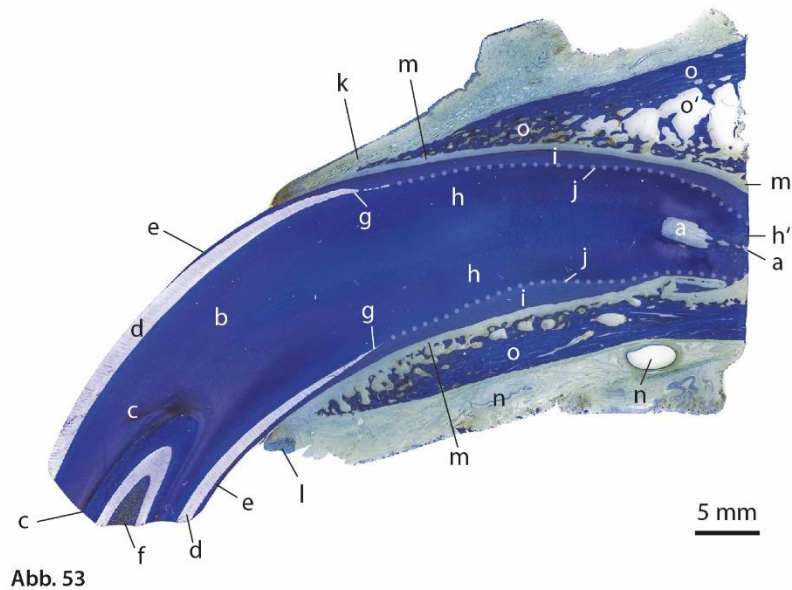


Abb. 53

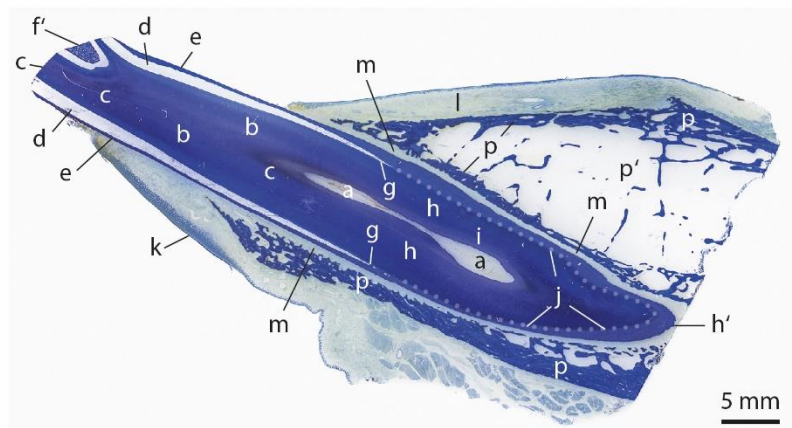


Abb. 54

**Abb. 53:** Längsschnitt durch den inneren Schneidezahn (I1, 201) vom linken Oberkiefer des 13-jährigen Pferdes. Der Schnitt liegt nahe der Mitte. Giemsa-Färbung. Siehe Legende Abb. 54.

**Abb. 54:** Längsschnitt durch den äusseren Schneidezahn (I3, 303) vom linken Unterkiefer des 13-jährigen Pferdes. Der Schnitt befindet sich in der Mitte des Zahnes und zeigt die langgestreckte, wenig gekrümmte Form des Zahnes. Giemsa-Färbung. Ansicht von links in beiden Bildern.

a Pulpahöhlen, sie sind nur teilweise getroffen, ihr dünnes, apikales Ende wurde in Abb. 54 nicht getroffen; b Dentin; c Ersatzdentin (als Zahnsternchen labial auf der Reibefläche); d Schmelz; e peripherer Zement; f-f' Kundenspuren = Boden der Kunde mit Zementfüllung: f tiefere Kundenspur im Oberkiefer, f' Rest der Kundenspur im Unterkiefer; g apikaler Beginn des Schmelzes; h Wurzelteil des Zahnes nur mit Dentin und Zement; h' apikales Ende der Wurzel; i Zement der Wurzel, j Grenze zwischen Dentin und Zement (gepunktete Linie).

k-l Gingiva: k labial, l lingual; m Periodontium; n Gaumenschleimhaut mit Gefässen; o Knochen des Os incisivum, o' seine Spongiosa; p Knochen der Mandibula, p' ihre Spongiosa. Beachte bei beiden Knochen die stellenweise dünnen Knochenbälkchen, angrenzend an das Periodontium.

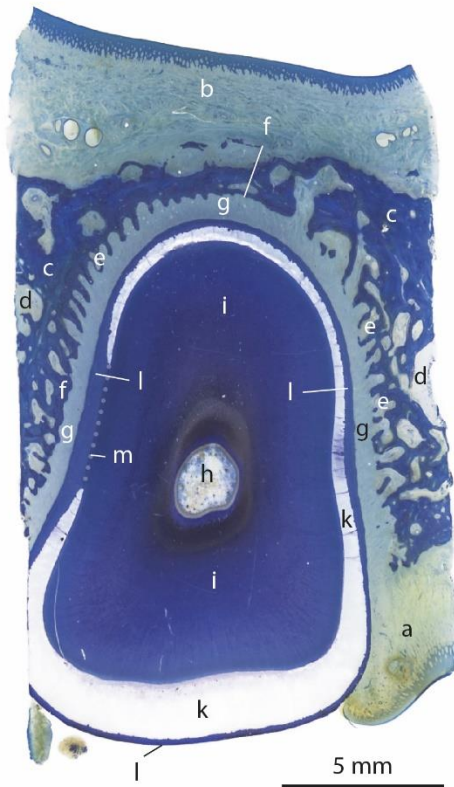


Abb. 55

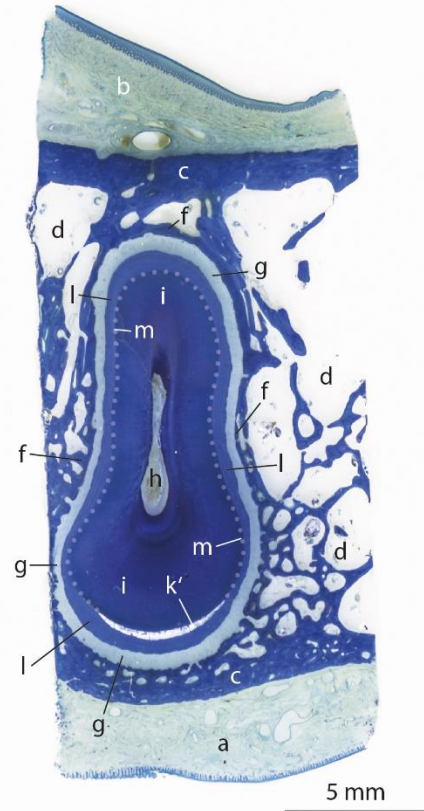


Abb. 56

**Abb. 55:** Querschnitt durch den inneren Schneidezahn (I<sub>1</sub>, 401) vom rechten Unterkiefer des 13-jährigen Pferdes. Der Schnitt liegt um 20 mm unter der Kaufläche und zeigt eine dreieckige Form. Giemsa-Färbung. Siehe Legende Abb. 56.

**Abb. 56:** Querschnitt durch den apikalen Teil desselben Zahnes (I<sub>1</sub>, 401). Der Schnitt befindet sich um 35 mm unter der Kaufläche und 20 mm über der Wurzelspitze bei einer Gesamtlänge des Zahnes bei 55 mm. Man beachte hier die längsovale Form des Zahnes, den nur kleinen Rest des Schmelzes und die grossen mit Knochenbälkchen ausgefüllten Abstände zu den hier nicht getroffenen, benachbarten Schneidezähnen. Giemsa-Färbung.

a Zahnfleisch, labial; b Zahnfleisch lingual; c-f Knochen der Mandibula: c kompakter Teil, d Spongiosa, e radiäre Knochenbälkchen angrenzend an das Periodontium, f längliche Bälkchen; g Periodontium; h Pulpahöhle; i Dentin; k Schmelz (hell), k' Schmelzende im apikalen Teil des Zahnes; l peripherer Zement; m Genze zwischen Dentin und Zement (gepunktete Linie).



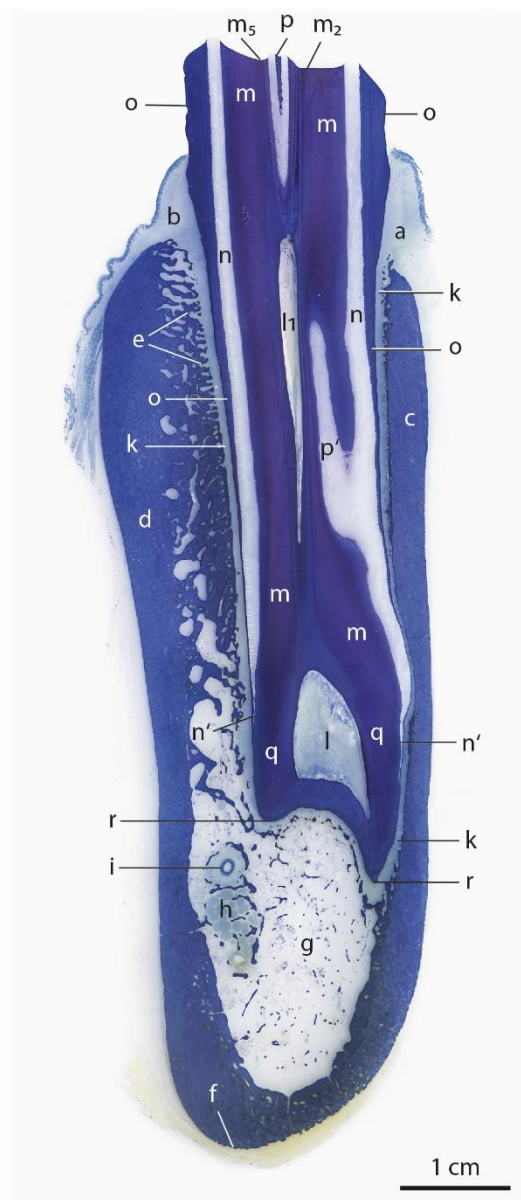


Abb. 57

**Abb. 57:** Längsschnitt durch den 4. Prämolaren (P<sub>4</sub>, 308) vom linken Unterkiefer des 13-jährigen Pferdes, Ansicht von rostral. Der Schnitt befindet sich 25 mm hinter der mesialen und ca. 5 mm vor der distalen Fläche des Zahnes und hat noch die kaudale, linguale Schmelzfalte getroffen. Die Zahnlänge bis zur Wurzelspitze beträgt hier 75 mm. Giemsaefärbung.

a Zahnfleisch bukkal; b Zahnfleisch lingual; c-g Mandibula: c bukkal, d lingual, e radiär stehende, dünne Knochenbälkchen, f ventraler Rand, g Spongiosa; h N. alveolaris inferior, i seine begleitende Arterie (A. alveolaris inferior); k Periodontium.

l Bindegewebe der Pulpahöhle, l<sub>1</sub> ihr mesialer bukkaler Ast; m Dentin, m<sub>2</sub> Ersatzdentin bukkal distal, m<sub>5</sub> Ersatzdentin lingual distal; n Schmelz, n' apikales Schmelzende; o peripherer Zement; p kaudale Schmelzfalte mit zentralem Zement, p' apikaler Schmelzteil der Falte; q-r Wurzelteil des Zahnes (q) mit Beginn der Wurzelspitzen (r).



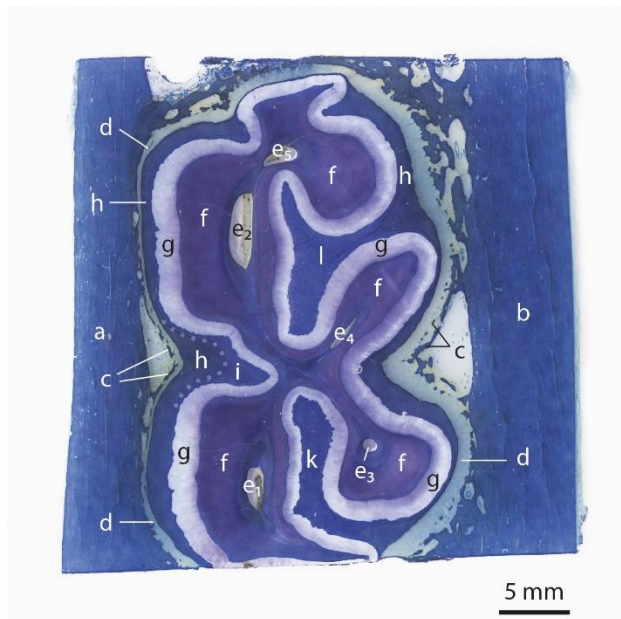


Abb. 58

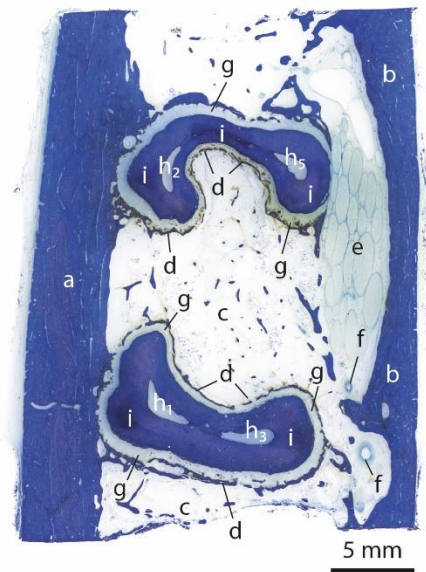


Abb. 59

**Abb. 58:** Querschnitt durch den 4. Prämolaren (P4, 408) vom rechten Unterkiefer des 13-jährigen Pferdes. Der Schnitt liegt um 25 mm unter der Kaufläche bei einer Gesamtlänge des Zahnes von 83 mm. Ansicht von dorsal. Giemsa-Färbung.

a-c Knochen der Mandibula: a bukkal, b lingual, c dünne Knochenbälkchen angrenzend ans Periodontium; d Periodontium.

e Äste der Pulpahöhle: e<sub>1</sub> bukkal mesial, e<sub>2</sub> bukkal distal, e<sub>3</sub> lingual mesial, e<sub>4</sub> lingual Mitte, e<sub>5</sub> lingual distal; f Dentin; g Schmelz (hell); h peripherer Zement; i laterale Schmelzfalte mit zentralem Zement; k rostrale linguale Schmelzfalte mit Zement im Innern; l linguale kaudale Schmelzfalte, T-förmig mit zentralem Zement.

**Abb. 59:** Wurzelteil desselben Zahnes von Abb. 57 = vom 4. Prämolaren (P4, 408) des rechten Unterkiefers. Der Schnitt liegt 72 mm unter der Kaufläche und 10-12 mm über der Wurzelspitze. Ansicht von dorsal. Giemsa-Färbung.

a-d Knochen der Mandibula: a bukkale Seite, b linguale Seite; c Spongiosa, d dünne Knochenbälkchen, die Zahnwurzeln umgebend; e N. alveolaris inferior; f Äste der A. alveolaris inferior; g Periodontium.

h Pulpäste der vorderen (mesialen) und der hinteren (distalen) Wurzel: h<sub>1</sub> bukkal mesial, h<sub>2</sub> bukkal distal, h<sub>3</sub> lingual mesial, h<sub>5</sub> lingual distal; i Dentin der Zahnwurzeln, umgeben von einem sehr dünnen Zementrand.

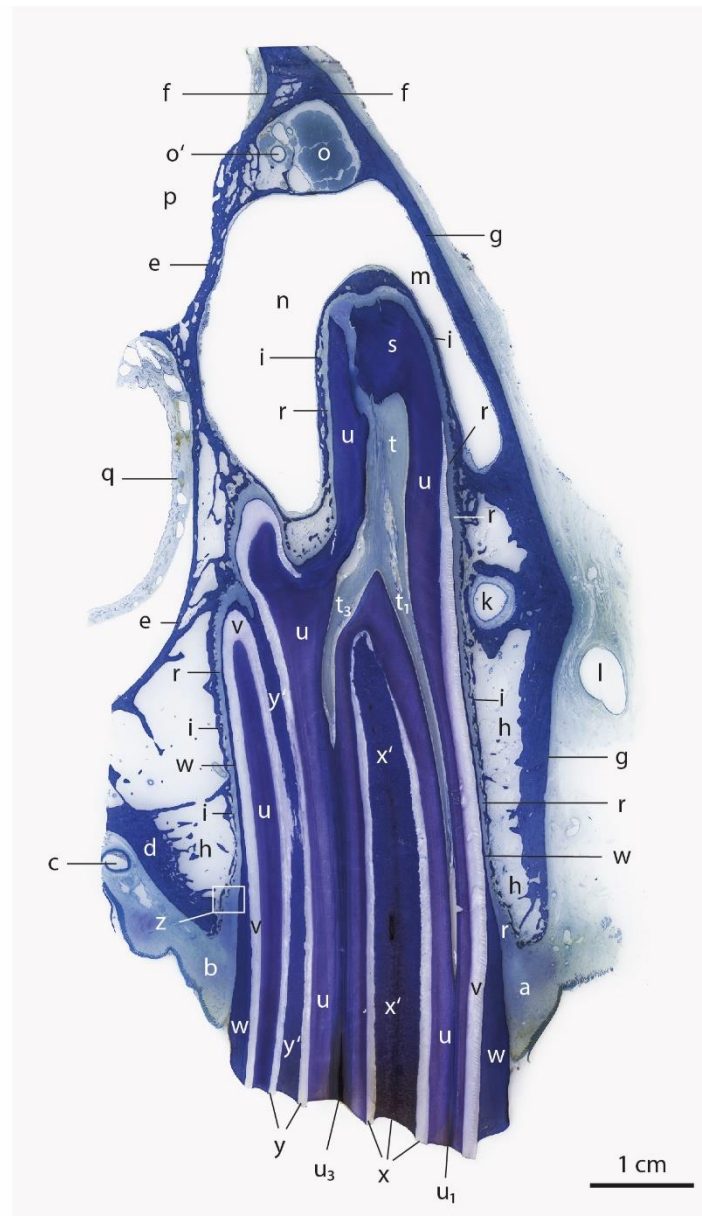


Abb. 60

**Abb. 60:** Längsschnitt durch die rostrale Hälfte des 4. Prämolaren (P<sub>4</sub>, 208) vom linken Oberkiefer des 13-jährigen Pferdes. Der Schnitt liegt um 10 mm hinter der rostralen = mesialen Fläche des Zahnes. Ansicht von rostral. Giemsa-Färbung.

a Zahnfleisch bukkal; b Zahnfleisch palatinal; c Gaumenarterie; d-i Knochen der Maxilla: d palatinal, e palatinal, die Nasenhöhle begrenzend, f dorsal, g bukkal, h ihre Spongiosa, i dünne Knochenbälkchen, dem Periodontium anliegend; k Tränennasengang; l Ast der V. facialis; m-n rostrale Kieferhöhle ausgekleidet mit Atmungsschleimhaut: m laterale Bucht, n mediale Bucht; o N. infraorbitalis, begleitet von der A. infraorbitalis (o'); p dorsaler Teil der Nasenhöhle; q Schleimhaut der ventralen Nasenmuschel; r Periodontium.

Am Zahn selbst: s Wurzelteil; t Bindegewebe der Pulpahöhle: t<sub>1</sub> ihr lateraler Ast, t<sub>3</sub> ihr medialer Ast; u Dentin, u<sub>1</sub> und u<sub>3</sub> Ersatzdentin; v Schmelz (hell); w peripherer Zement; x rostraler Schmelzbecher, x' seine Zementfüllung; y rostrale Schmelzfalte, y' ihre Zementfüllung; z Ausschnitt Abb. 61.

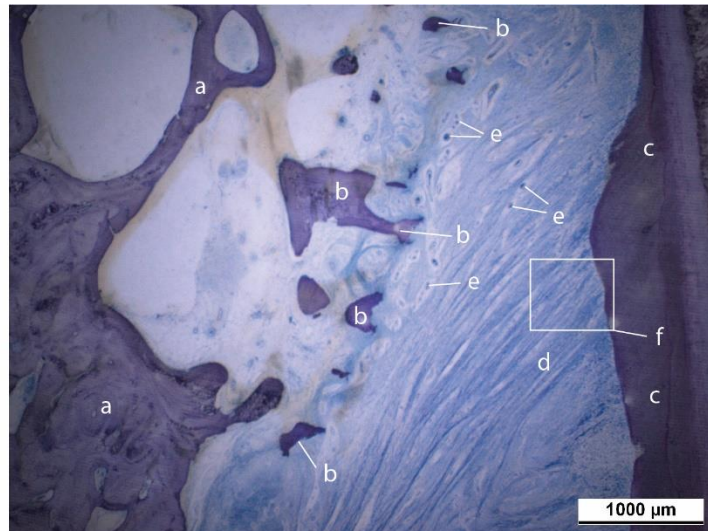


Abb. 61

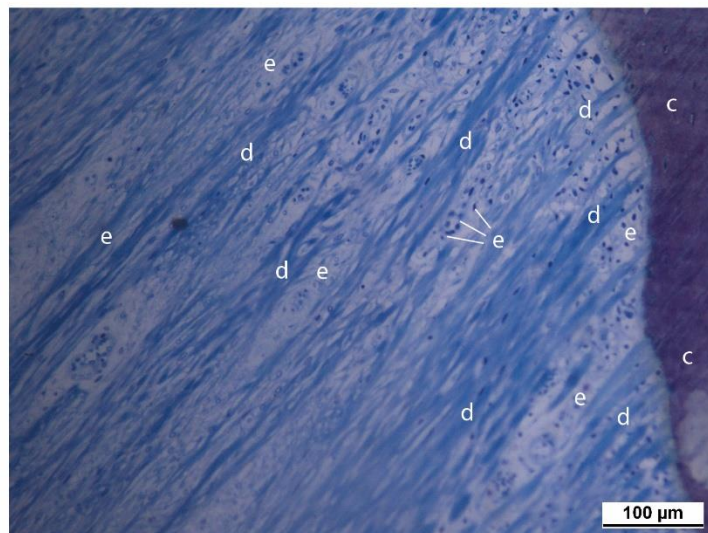


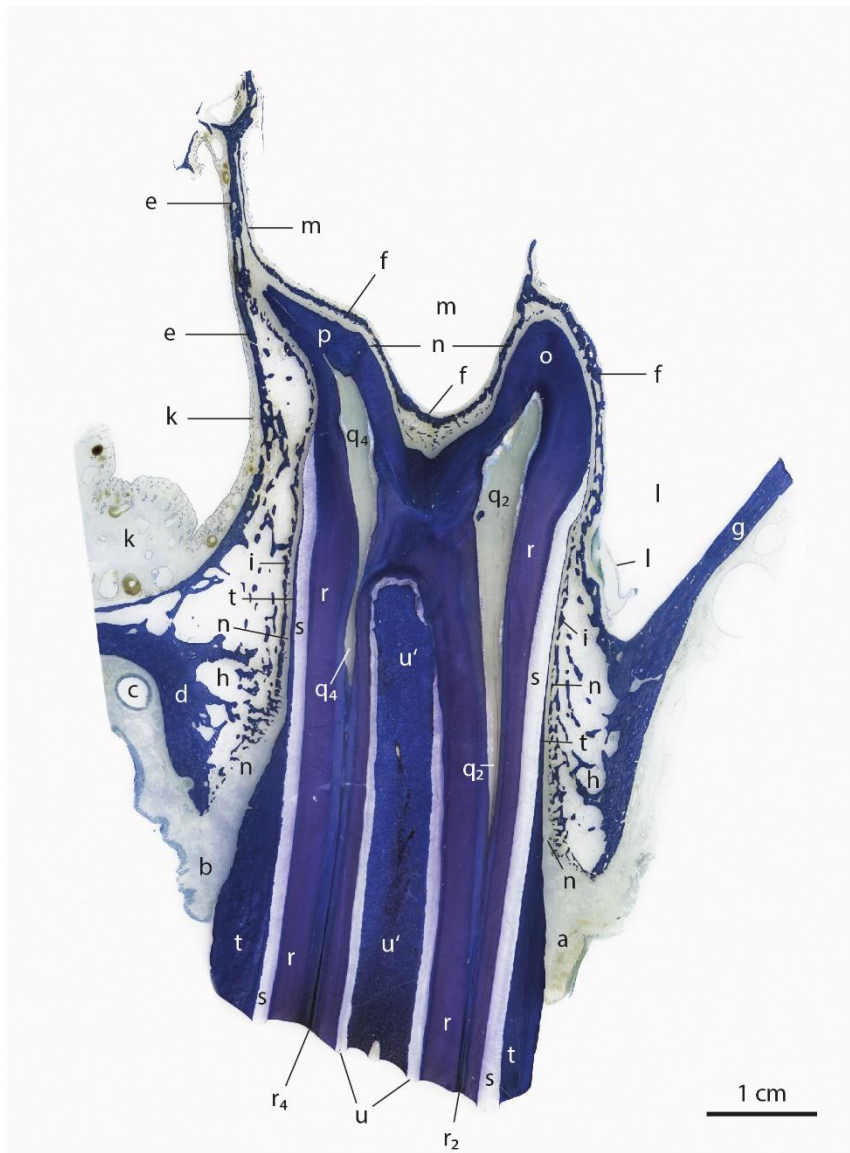
Abb. 62

**Abb. 61:** Verbindung von Knochen und Zahn durch Fasern des Periodontium. Längsschnitt aus der kaudalen Hälfte des 4. Prämolaren (P<sub>4</sub>, 208) vom linken Oberkiefer des 13-jährigen Pferdes. Der Schnitt liegt im Bereich von Abb. 60z 10-12 mm unter der Oberfläche des Zahnfleisches. Toluidinblaufärbung. Siehe Legende Abb.62.

**Abb. 62:** Ausschnitt Abb. 61f bei starker Vergrößerung. Die längs getroffenen Sharpey Fasern ziehen bis in den Zahnzement hinein. Die zirkulär verlaufenden Fasern des Periodontiums begleiten die Fibrozyten, deren Zellkerne quer getroffen sind.

a-b Knochen der Maxilla, b feine innere Knochenbälkchen; c peripherer Zement des Zahnes; d Sharpey Fasern; e Kerne der Fibrozyten; f Ausschnitt Abb. 62.





**Abb. 63**

**Abb. 63:** Längsschnitt durch die kaudale Hälfte des 1. Molaren (M<sub>1</sub>, 209) vom linken Oberkiefer des 13-jährigen Pferdes. Der Schnitt befindet sich um 18 mm kaudal der rostralen = mesialen Fläche des Zahnes. Ansicht von rostral. Giemsa-Färbung.

a Zahnfleisch bukkal; b Zahnfleisch palatinal; c Gaumenarterie; d-i Knochen der Maxilla: d palatinal, e palatinal, die Nasenhöhle begrenzend; f dünne, dorsale Bälkchen, die Kieferhöhle begrenzend; g lateraler = bukkaler Teil, h Spongiosa, i dünne Knochenbälkchen, dem Periodontium anliegend; k Schleimhaut der ventralen Nasenmuschel; l-m rostrale Kieferhöhle, mit Atmungsschleimhaut ausgekleidet; l laterale Bucht, m mediale Bucht; n Periodontium.

Am Zahn selbst: o-p kaudale Wurzeln: o bukkal, p palatinal; q Bindegewebe der kaudalen = distalen Äste der Pulpahöhlen q<sub>2</sub>= bukkal, q<sub>4</sub> = palatinal; r Dentin, r<sub>2</sub> und r<sub>4</sub> Ersatzdentin; s Schmelz (hell); t peripherer Zement; u kaudaler Schmelzbecher, u' seine Zementfüllung.

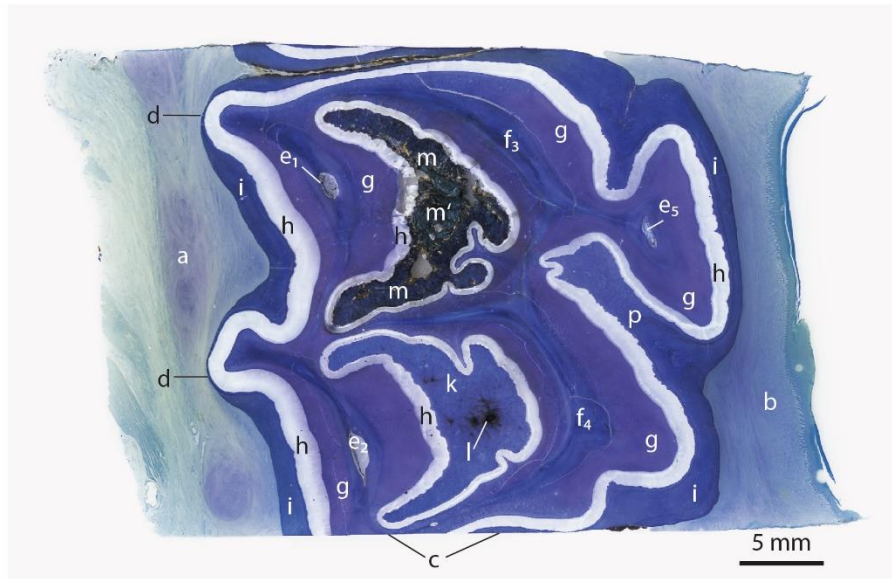


Abb. 64

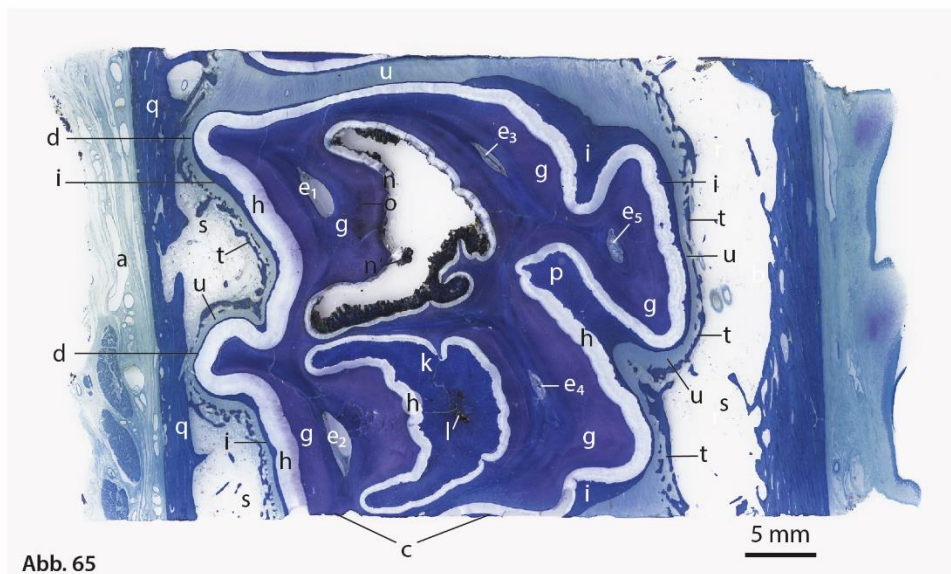


Abb. 65

**Abb. 64:** Querschnitt durch den ersten Molaren (M<sub>1</sub>, 109) vom rechten Oberkiefer des 13-jährigen Pferdes mit einem unveränderten kaudalen und einem veränderten rostralen Schmelzbecher. Der Schnitt liegt 16-18 mm unter der Kaufläche. Giemsa-Färbung. Siehe Legende Abb.65.

**Abb. 65:** Querschnitt durch denselben Zahn weiter apikal im Zahnkörper mit rostralem Schmelzbecher, dessen innere Zementfüllung weitgehend fehlt. Der Schnitt befindet sich um 25 mm unter der Kaufläche. Giemsa-Färbung

a Rest des bukkalen Zahnfleisches; b Zahnfleisch palatinal; c kaudale = distale Fläche; d laterale = bukkale Schmelzkanten; e Bindegewebe der Äste der Pulpahöhlen e<sub>1</sub>-e<sub>5</sub>; f Ersatzdentin f<sub>3</sub>-f<sub>4</sub>; g Dentin; h Schmelz (hell); i peripherer Zement; k kaudaler Schmelzbecher, zementgefüllt mit kleinem Hohlraum (l); m rostraler Schmelzbecher mit braun verfärbtem und teilweise zerfallendem Zement (m'); n-o rostraler Schmelzbecher, wenig tiefer getroffen mit grossem Hohlraum, stark zerfallendem Zement (n') und teilweise abgelösten Schmelz (o); p Schmelzfalte, von kaudal kommend, mit Zement gefüllt.

q - t Knochen der Maxilla: q bukkal, r palatinal, s Spongiosa, t feine Knochenbälkchen; u Periodontium.



Die **Querschnitte durch den 1. Molaren vom rechten Oberkiefer** M<sub>1</sub> (109) zeigen wie üblich die Schmelzfalten und Schmelzbecher mit ihrer Zementfüllung. Der Querschnitt von Abb. 64 liegt 16-18 mm unter der Kaufläche. Die Pulpahörner sind bukkal noch offen, palatinal ist schon Ersatzdentin vorhanden. Der Zement im rostralen Schmelzbecher ist schon deutlich braun verfärbt und weist einige Hohlräume auf, während der kaudale Schmelzbecher überwiegend mit unverändertem Zement ausgefüllt ist und nur zentral eine kleine Schwarzverfärbung aufweist.

Der Querschnitt durch denselben M<sub>1</sub> (109) befindet sich weiter apikal um 25 mm unter der Kaufläche. Hier ist im rostralen Schmelzbecher der Zement weitgehend herausgelöst, lediglich ein braunverfärbter Schmelzrand liegt stellenweise am inneren Rand des Schmelzbeckers. Dagegen ist auch hier der kaudale Schmelzbecher fast vollständig mit unverändertem Zement gefüllt. Zentral ist ein kleiner Hohlraum zu sehen. In diesem Schnitt sind alle fünf Hörner der Pulpahöhle mit ihrem Bindegewebe eröffnet. Der umgebende Knochen der Maxilla zeigt anliegend an das Periodontium allgemein sehr dünne Knochenbälkchen.

#### **7.4. Pathologische Veränderung an einem Schneidezahn**

Neben den in Abb. 52-65 gezeigten Normalbefunden des 13-jährigen Pferdes fiel am dritten Schneidezahn I<sub>3</sub> (103) des rechten Oberkiefers eine Zubildung am lateralen Teil der Krone auf. Diese besteht aus Zement und zeigt in ihrem Innern Hohlräume mit braunverfärbtem, zerfallendem Zement. Der in Abb. 66 sichtbare Schmelzrest befindet sich am lateralen Rand des Zahnes. Die nach aussen folgende Zubildung mit Zerfall ist in Abb. 67 gezeigt. Die hier gezeigten Veränderungen des I<sub>3</sub> (103) betrafen nur die Krone des Zahnes.

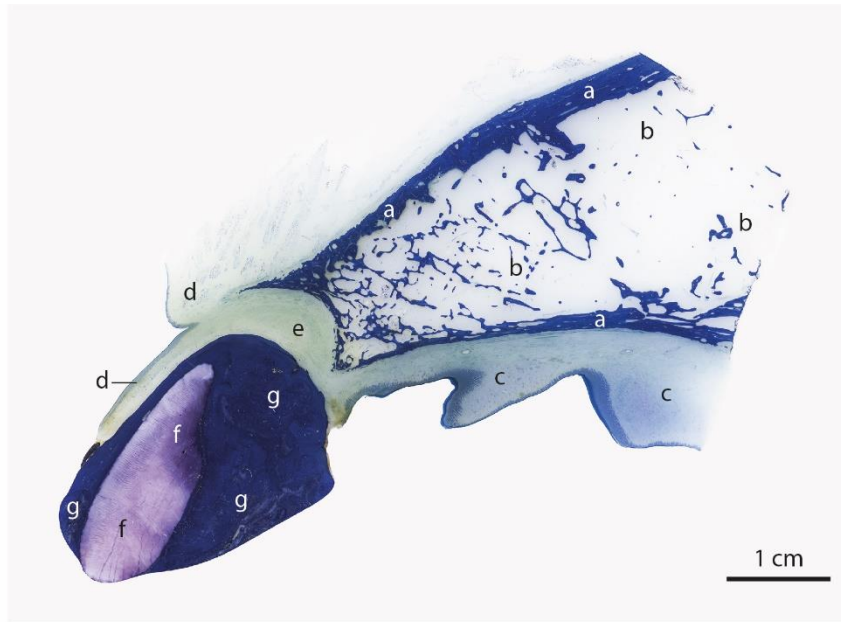


Abb. 66



Abb. 67

**Abb.66** Krone des Schneidezahnes I<sub>3</sub> (103) vom rechten Oberkiefer des 13-jährigen Pferdes mit starker Zementzubildung und Zementzerfall. Längsschnitt durch den lateralen Rand des Schneidezahnes. Giemsafärbung. Siehe Legende Abb.67.

**Abb. 67:** Längsschnitt weiter lateral durch den Zement mit zerfallender Innenzone. Giemsafärbung.

a-b Os incisivum: a Kompakta, b Spongiosa; c Schleimhaut des harten Gaumens; d Zahnfleisch labial; e Periodontium; f laterale Schmelz; g Zementzubildung; h zentraler Zerfall des Zementes.

## **8. Diskussion**

Das Ziel dieser Arbeit war die Illustration histologischer Bilder von Pferde­zähnen mit ihrer physiologischen Umgebung in drei Altersklassen. Die unveränderten anatomisch-histologischen Abbildungen sollten eine Grundlage für das Verständnis von Pathologien schaffen. Bisher waren die Zähne nicht im Gesamten mit der Umgebung, sondern nur in Form von einzelnen Strukturen und Pathologien beschrieben und untersucht worden.

### **8.1. Material und Methoden**

Larsson (1975) schrieb über eine neue Methode, indem er Organe und Kleintiere in Methylmethacrylat (MMA) einbettete. Die in der Zwischenzeit lang überarbeitete und erprobte Anleitung zur Präparation von MMA Blöcken hilft heutzutage, dass die Weiterverarbeitung von Gewebeschnitten relativ problemlos durchgeführt werden kann.

In der vorliegenden Arbeit war es möglich, gute Übersichtsaufnahmen bis hin zu Details der Zahnsubstanzen sowie die Umgebung der Zähne bei starker Vergrößerung darzustellen.

An drei euthanasierten Pferden, die nicht an Zahnproblemen erkrankt waren, wurden jeweils die Köpfe unmittelbar nach der Euthanasie mit dem vorderen Drittel des Halses abgesetzt. Die Perfusion mit einem Gemisch aus Glutaraldehyd und Formaldehyd über die linke und rechte A. carotis communis ergab eine gute Fixation des gesamten Gewebes ohne Substanzverlust. Lediglich in der Pulpahöhle war die Pulpa mit den Odontoblasten im kronenseitigen Teil oft nicht genügend fixiert und daher waren die Zellen weniger gut erkennbar. Alle übrigen Gewebeteile, inklusive der Enameloblasten, Zementoblasten und des Periodontium, liessen sich sehr gut darstellen.

Beim Herstellen der Präparate aus den fixierten Kiefern war es insbesondere bei den hinteren Backenzähnen durch deren Verkrümmung nicht immer möglich, diese genau entlang der Facies contactus zu trennen.

Nach dem Aussägen der ganzen Zähne mit ihrer Umgebung wurden das Eindringen des MMA und die Polymerisation sehr langsam über zwei Monate durchgeführt. Insbesondere bei den bis zu 5 x 11 cm grossen Präparaten musste eine Bildung von Luftblasen vermieden werden, was durch die Polymerisation im Kühlschrank gelang.

Mit der diamantbeschichteten Bandsäge wurden die Blöcke in Serien auf etwa 1.3 mm starke Schnitte zerlegt und auf Acryl­objektträger aufgeklebt. Aus diesen ungefärbten Schnittserien wurden jeweils mehrere Präparate ausgewählt und mit der Mikrotomfräse bearbeitet und gefärbt.

Zur Vermeidung von Frässpuren auf den aufgeklebten Präparaten waren besonders gut geschliffene Fräsköpfe nötig. Ein Nachpolieren auf Schleifplatten mit Sprays von 3 µm und 1 µm konnte allfällige Frässpuren weitgehend beseitigen. Am besten bewährt hat sich die Färbung nach Giemsa, da sie die verschiedenen Gewebestrukturen am besten differenzierte. Mit der Toluidin Darstellung liessen sich vor allem die Fasern des Periodontium sehr gut anfärben. Die van Kossa-Färbung produzierte durch Phosphateinlagerung eine Dunkelfärbung; so konnten auch die Schmelzvorstufen bereits weit apikal an den Zähnen dargestellt werden.

Von den ausgewählten und gefärbten Querschnitten wurden jeweils mehrere Schnitte koronal, in der Mitte und apikal beurteilt. Bei den Längsschnitten wurden mehrere Stufen von mesial nach distal möglichst in der ganzen Zahnlänge dokumentiert. Aus allen Längs- und Querschnitten wurden die Präparate zur Illustration dieser Arbeit ausgewählt.

Die Methode zur Herstellung der Präparate unterschied sich von den meisten Arbeiten, die in der Literatur beschrieben wurden. Wenige Autoren betteten die Zähne oder einzelne Strukturen in MMA ein (Übersicht in Tab. 4).

Tabelle 4: Erstautoren und angewandte Methoden der Zahnuntersuchungen beim Pferd.

<b>Autoren</b>	<b>Untersuchungsgebiet bei Zähnen</b>	<b>Methoden</b>
Baker (1974)	Pathologien	Entkalkt, HE gefärbt
Kirkland (1996)	Normalbefunde	MMA, Toluidinblau
Kilic (1997a,b,c,d)	Normalbefunde	MMA (Simplex Rapid) für die Beurteilung mit dem Lichtmikroskop
Mitchell (2003)	Normalbefunde	Entkalkt, Masson, HE
Staszyk (2005a)	Normalbefunde	Immunhistochemie
Masset (2006a)	Normalbefunde	MA (Biodur TM E20), mazeriert
Dacre (2008)	Pathologien	fixiert
Cox (2012)	Pathologien	Entkalkt, HE gefärbt
Erridge (2012)	Pathologien	entkalkt
Schrock (2013a,b,c)	Normalbefunde	MMA, daraus 3-D Modelle
Suske (2015a,b)	Morphologische Variationen und Pathologien	Entkalkt, HE gefärbt
Liuti (2017)	Pathologien	Entkalkt, in Paraffin Wachs

Vergleicht man die gebrauchten Materialien und Methoden von veterinärmedizinischen Studien, welche sich auch mit der Histologie der physiologischen Zahnstrukturen befassten, so fällt auf, dass die Bearbeitung der Präparate durch die MMA-Methode nur bei Kirkland et al. (1996) angewendet wurde. In der Humanmedizin wurde diese Methode für Knochenimplantate und für Präparate zu immunhistochemischen Studien gebraucht (Bernhards et al., 1992). In wenigen weiteren Studien der Veterinärmedizin, wie zum Beispiel bei Kilic et al. (1997), Masset et al. (2006) und Schrock et al. (2013), wurden die Schnitte zwar in Methylmethacrylat eingebettet, doch die Blöcke wurden dann unter anderem zur Herstellung von 3-D Modellen gebraucht.

In vielen Studien wurden die Zähne für die Präparate entkalkt. Bei dieser Methode wird der Schmelz oft herausgelöst. Bei rascher, aggressiver Entkalkung (z.B. mit Salzsäure) kann auch die Struktur der die Hartsubstanzen bildenden Zellen geschädigt werden.

Kilic et al. (1997a) zitierten Warshawsky (1989): Er war der Meinung, dass noch keine befriedigende Technik es erlaube, die kalzifizierten Substanzen und das Weichteilgewebe so zu untersuchen, dass deren Zusammenhänge zu verstehen waren.

Wie in der vorliegenden Untersuchung verglichen einige Arbeiten Zahnstrukturen von Pferden verschiedenen Alters. Allerdings begutachteten sie diese nur einzeln und nicht im Gesamten. Windley et al. (2009a,b) zeigten beispielsweise in 3-D Bildern den Aufbau und die Verläufe des Schmelzes, der Infundibula und der Pulpahöhlen in verschiedenen Altersklassen.

## **8.2. Resultate**

Aufgrund des hohen Arbeitsaufwandes beschränkte man sich im Rahmen dieser Arbeit vor allem, aber nicht nur, auf die klinisch relevanten Zähne.

Mit den Querschnitten wurde eine gute Übersicht über die Zahnstrukturen geschaffen. Man konnte erkennen, welche Substanzen an die anderen angrenzen. Die Querschnitte ergaben zusätzlich gute Überblicke über die Schmelzfalten, die Schmelzbecher, das Ersatzdentin und über die Zahl und den Verlauf der Pulpahörner. Auch die den Zahn umgebenden Substanzen, wie das Periodontium und die Knochen, konnten in diesen Schnitten beurteilt werden, aber weniger umfassend als in Längsschnitten. Die Längsschnitte zeigten deutlich den Zahn in seiner gesamten Umgebung. Aufgrund der Krümmung der Zähne waren ideale Längsschnitte nicht immer möglich. Bei den Backenzähnen versuchte man in der mesialen und der distalen Hälfte jeweils Bilder der Zähne in der gesamten Länge zu erfassen. Damit konnte auch die Ausdehnung der Schmelzbecher von koronal nach apikal ziemlich genau beurteilt und gemessen werden. Bei den Querschnittsbildern waren die Längen aufgrund der regelmässigen 2 mm Abstände der Schnittbilder berechenbar. Auf den Längs- und Querschnitten waren oft noch Schräganschnitte der benachbarten Zähne sichtbar.

Alle Zahnschubstanzen und Zellen, ausser stellenweise die Odontoblasten, liessen sich gut darstellen. Die Schmelzprismen waren oft nur schwach zu erkennen und nur bei einer gewissen Überfärbung etwas besser sichtbar. Wie in Mitchell et al. (2003) beschrieben, sind in Grossaufnahmen verschiedene Zonen im peripheren Zement zu erkennen. Aktive Zementoblasten liegen am Rand. Teilweise waren durch die dunkle Färbung keine Blutgefässe zu sehen. In anderen Präparaten konnten jedoch Blutgefässe dargestellt werden.

Mikrofrakturen gab es vor allem in aussen liegenden Strukturen. Die Frage stellte sich, ob diese natürlich oder durch das Einbetten mit Wasserentzug entstanden waren. Die Risse zogen teilweise kontinuierlich in die Substanzen Zement, Schmelz und Dentin hinein. Für natürliche Frakturen sprachen das Vorhandensein von Rissen an denselben Stellen von mehreren Präparaten der Schnittserie. Bei Mikrorissen durch Wasserentzug müssten aber zuvor auch schon leichte Zusammenhangstrennungen in den Zahnschubstanzen vorgelegen haben.



Nach den einleitenden Kapiteln wurden bei den Resultaten zunächst die Ergebnisse des 5-jährigen Pferdes vorgestellt. Nach dem vollendeten Zahnwechsel und dem Hochwachsen der Zähne konnte da nur eine Zahngeneration, ohne weiter fortgeschrittene Altersveränderungen beurteilt werden.

Das Gebiss des 5-Jährigen zeigte aber apikal bei allen Zähnen noch Längenwachstum. Es wurden sowohl bei den Milchzähnen als auch bei den Backenzähnen im apikalen Bereich noch Enamelblasten sowie Odontoblasten und Zementoblasten gesehen. Die Wurzelkanäle waren in der Regel bei allen Zähnen noch relativ weit.

Gemäss Schrock (2013a) kommt das Längenwachstum eines Teils durch Schmelzzubildung im apikalen Bereich, sowie durch Längenwachstum der Wurzel mit Dentin und Zement zustande. Beim 5-jährigen Pferd konnte noch Schmelzbildung im apikalen Bereich festgestellt werden. Apikal wurden aber auch schon Bezirke gesehen, wo nur noch Dentin und Zement vorhanden waren. Schrock (2013a) zeigte, dass das apikale Zahnflächenwachstum der Schneidezähne den Abrieb der Kaufläche während zwei bis vier Jahren ausgleichen kann und deswegen die Schneidezähne in dieser Zeit ein Längenwachstum erfahren. Diese Maximallänge bleibt ca. zehn Jahre vorhanden, also bis ca. 13-15 Jahre nach der Eruption.

Beim 2-jährigen Pferd wurde versucht, das Herausschieben des Zahnes zu verstehen. Neben der vermuteten Verlängerung deuteten vermutlich periodisch auftretende Osteoklasten am apikalen Ende des  $I_1$  auf einen aktiven Abbau hin. Possmann-Dias (2005) verwies in ihrer Dissertation auf mehrere Autoren, welche beschrieben, dass beim Zahnwechsel das Wachsen des Ersatzzahnes auch Osteoklasten aktivierte. Diese sollten das Knochenseptum zum Milchzahn auflösen und seine Zahnwurzel zerstören. Der Nachschub des Ersatzzahnes kommt durch vermehrte Produktion von Dentin und Schmelz im apikalen Bereich zustande. In den nach Kossa gefärbten Präparaten konnte dabei auch schon weit apikal eine erste Einlagerung von Phosphat in die Vorstufen des Schmelzes gesehen werden.

Alle Zähne, ausser die Molaren, wechseln zwischen 2.5 und 4.5 Jahren. Beim 2-Jährigen waren die Anlagen der Ersatzzähne gut sichtbar vorhanden. Teils waren sie in ihrer Entwicklung bereits weit fortgeschritten. Ausser den durchgebrochenen Molaren  $M_1$  und  $M_2$  konnten in beiden Kiefern auch die weit entwickelten Anlagen des  $M_3$  nachgewiesen werden, deren koronales Ende bis in Nähe der Knochenoberfläche reichte. Auf Höhe der Mitte des  $I_1$  und des  $I_{d1}$  war das Zahnsäckchen des  $I_2$  angeschnitten. Da der  $I_1$  erst mit 3.5 Jahren gewechselt wird, ist er noch früh in der Entwicklung. Soana et al. (1999) zeigten in einer radiologischen Studie die Entwicklung der Zahnanlagen von verschiedenen alten Föten (in Tagen). Dem Alter nach waren die verschiedenen Anlagen vorhanden:  $P_3$  (138-140 Tage),  $P_2$  und  $P_4$  (146 Tage),  $I_1$  (160 bis 168 Tage),  $I_2$  (180-188 Tage) und  $I_3$  (224 Tage).

Kirkland et al. (1996) beschrieben, dass beim 5-jährigen Pferd durch die unterschiedliche Eruptionszeit die Zähne eine unterschiedliche Wurzelbildung hatten und deshalb eine Differenz in der Länge aufwiesen. Die untersuchten Backenzähne, die Prämolaren und die Molaren, zeigten beim 5-jährigen Pferd in dieser Arbeit apikal noch Schmelz und Schmelzbildung. Das bedeutet, dass hier der Zahnkörper noch apikal verlängert werden kann und die Wurzelbildung aus Dentin und

Zement erst später einsetzt. An den Schneidezähnen des 5-jährigen Pferdes wurden dagegen schon Anfänge der Wurzelbildung beobachtet.

Mit zunehmendem Alter wird durch die Zubildung von Dentin und Zement die Wurzel länger und gegen die Spitze schmaler. Dadurch wird das Foramen apicale stets kleiner und die Blutversorgung geringer. Die Resultate der vorliegenden Arbeit zeigten auf, dass beim 5-jährigen Pferd die mesiale Wurzel des 1. Molaren ein kleineres Foramen aufwies als die distale Wurzel, welche einen weiten, offenen Wurzelbereich hatte. Beim 13-jährigen Pferd zeigte die Wurzel nur noch ein sehr kleines, ca. 1 mm weites, Foramen apicale.

Beim noch nicht durchgebrochenen Ersatzschneidezahn des 2-jährigen Pferdes lag die grosse, gemeinsame Pulpahöhle aus Bindegewebe zentral den Hartsubstanzen an. In den Ersatzzähnen der Prämolaren von Ober- und Unterkiefer werden die Ausläufer der Pulpahöhle, die Pulpahörner, sichtbar. Die Verbindungen der Pulpahörner zu den apikalen und weiteren Teilen der Pulpa waren oft schwierig zu identifizieren. Die Oberkieferbackenzähne zeigten mit Schmelzbechern und Schmelzfalten eine deutlich komplexere Struktur als die Backenzähne des Unterkiefers, die nur Schmelzfalten enthielten.

Alle untersuchten Schneidezähne hatten ein Pulpahorn. Ein zweites, gefüllt mit Ersatzdentin, wurde andeutungsweise beim 5-jährigen Pferd gesehen. Englisch et al. (2018) beschrieben, dass die Incisivi 1 und 2 zwei Pulpahörner hatten, ein labio-distales und ein labio-mesiales. Die Prävalenz der Zähne mit nur einem Pulpahorn war im Unterkiefer höher als im Oberkiefer. Die eigenen Resultate zeigten sehr selten nur andeutungsweise ein zweites Pulpahorn.

Verfolgt man die Pulpahörner von koronal nach apikal, so kommen diese zu Gruppen zusammen. Die Unterkieferbackenzähne zeigen fünf Pulpahörner und formen zwei Wurzeln: eine rostrale und eine kaudale. Die Oberkieferbackenzähne zeigen ebenfalls fünf Pulpahörner und formen drei Wurzeln: eine grössere mediale und zwei kleinere laterale. Viele Studien beobachteten, dass die Pulpa durch Produktion von Sekundärdentin mit zunehmendem Alter kleiner wurde. Windley et al. (2009a) beschrieben, dass im höheren Alter weniger interpulpäre Verbindungen in den Backenzähnen des Ober- und Unterkiefers vorhanden waren. Windley et al. (2009a) sowie die eigenen Beobachtungen wiesen darauf hin, dass die Therapie von endodontischen Pathologien frustrierend sein kann, weil die engen Pulpahörner und ihre apikalen Verbindungen nur schwer zu verfolgen sind.

Der Begriff der Wurzel wurde als der apikale Abschnitt definiert, der nicht mehr schmelzhaltig ist, sondern nur noch aus Dentin und Zement besteht (Habermehl 1975, 1987, Dixon et al., 2007a). Beim alten Pferd werden nach Abrieb der harten, schmelzhaltigen Substanzen des Zahnkörpers die nur noch aus Dentin und Zement bestehenden Wurzelteile gemäss klinischen Erfahrungen sehr stark abgenutzt.

In diesem Zusammenhang ist auch der Vergleich der apikalen Bereiche vom Backenzahn P<sub>4</sub> des Unterkiefers des 2-jährigen Pferdes in Abb. 51 mit dem Bild vom 13-jährigen Pferd in Abb. 57 von Interesse. Bei beiden Pferden zeigt der apikale Bereich der Zähne einen grossen Abstand zum ventralen Rand des Unterkiefers. Beim jungen Pferd mit den noch apikal vorhandenen Schmelzbildnern ist zu erwarten, dass durch Längenwachstum des Zahnes der Raum bis zum ventralen Unterkieferrand vollständig ausgefüllt wird, so dass der ventrale Rand möglicherweise sogar noch vorgewölbt wird. Beim 13-jährigen Pferd ist nach abgeschlossenem Längenwachstum

nur noch Abrieb des Zahnes möglich. Durch Nachschieben des Zahnes in Richtung Kaufläche wird somit der Abstand zwischen der Zahnwurzel und dem ventralen Kieferrand mit zunehmendem Alter immer grösser.

Die Schmelzbecher gaben in der Literatur grossen Anlass zur Erstellung etlicher Hypothesen betreffend ihrer physiologischen Struktur und ihrer pathologischen Veränderungen.

Suske et al. (2016a) entnahmen von Fohlen zwei Monate a.p. bis zwei Tage p.p. die Prämolaren und untersuchten diese makroskopisch und mikroskopisch. Bei allen Fohlen wurde im Zentrum des Infundibulum ein von der Kaufläche herkommendes Blutgefäss eingebettet im Bindegewebe nachgewiesen. Ausser den von koronal kommenden Gefässen kamen auch seitlich an den Kontaktflächen einzelne Blutgefässe in die Schmelzbecher. Diese Blutgefässe traten im Vergleich zum mesialen Infundibulum am distalen Infundibulum weiter apikal ein. Dadurch dürfte das distale Infundibulum wohl länger durchblutet sein. Die Blutgefässe waren jeweils von Zementoblasten begleitet. Auch in unseren Befunden wurde festgestellt, dass Abbauvorgänge in den mesialen Infundibula stärker ausgeprägt waren als in den distalen Infundibula.

Diese unterschiedlich ausgeprägte Füllung des Zementes wurde in den folgenden Jahren als Zementhypoplasie, Infundibularnekrose oder unter anderem auch als Karies definiert.

Obwohl Jahrzehnte vorbeigingen, definierten Baker (1974) und später Baker und Easley (2007) Karies als Demineralisierung des kalzifizierten Zahngewebe und Zerstörung der dazugehörigen organischen Anteile durch Mikroorganismen produzierte Säuren.

Baker schrieb 1974 eine Studie, welche die Zementhypoplasie, die Infundibularnekrose und Karies verglich. Die Konklusion war nicht aufschlussreich. Baker schlug jedoch vor, den Begriff Karies durch Infundibularnekrose zu ersetzen, da die Inzidenz der Läsion sehr gross war und die Ätiopathologie unbekannt. Als weiteres zitierte er für die Definition der Zementhypoplasie Joest (1926): Dieser hatte in histologischen Schnitten festgestellt, dass der Zement im Schmelzbecher von koronal nach apikal produziert wurde, aber zur Zeit des Durchbruchs der Zähne dieser Prozess teilweise unvollständig war. In der neueren Zeit wird der Begriff der Zementhypoplasie gebraucht. Deren Ätiologie wird allerdings sehr unterschiedlich erklärt.

Pearce (2015) erklärte aufgrund von Zitaten, dass die Zementhypoplasie eher ein apikales Geschehen sei, wohingegen Karies eine offene Kaufläche aufweisen und zu einer Auflösung der Zahnsbstanzen durch Säuren und pflanzliche Stoffe führen. In der vorliegenden Untersuchung konnte jeweils auch eine kleine Öffnung an den Kauflächen der Infundibula gesehen werden. Neueste Arbeiten (Borkent et al. 2020b) über Karies besagen, dass kleine Kanälchen und kleine Frakturspalten eine Eintrittspforte bilden, oder auch, dass vom Periodontium her bakterielle Erreger vom Zement bis in den Schmelz eindringen.

In der vorliegenden Arbeit waren die Schmelzbecher des 2-jährigen Pferdes bindegewebig durchsetzt und beinhalteten wenig Zement. Im Gegensatz dazu waren die Schmelzbecher des 5-Jährigen meist relativ stark mit Zement gefüllt und die des 13-Jährigen enthielten fast nur noch aufgelösten Zement. (Abb. 27, 44 und 65) Der mesiale Schmelzbecher zeigte beim Oberkieferbackenzahn des 13-jährigen Pferdes eine deutlich stärkere Auflösung des Zementes als der distale Schmelzbecher. Beim

5-jährigen Pferd war ca. 7 mm unter der Kaufläche noch keine Auflösung, aber schon eine deutlichere Verfärbung beim mesialen Schmelzbecher sichtbar. Ca. 30 mm unter der Kaufläche war ebenfalls weniger Zement als in der distalen Kunde vorhanden.

Laut Suske et al. (2016a) entsteht diese unregelmässige Zementogenese aufgrund der sich verändernden Durchblutung. Dementsprechend ist die Prävalenz von verändertem Zementinhalt im mesialen Infundibulum höher als im distalen. Fitzgibbon et al. (2010) wollten 6 Jahre zuvor das Vorhandensein einer apikal eintretenden Arterie beweisen, es wurden aber histologisch keine bestätigenden Bilder veröffentlicht.

Als weiteres Thema interessierte die Entstehung der Schmelzbecher. Beschrieben wurde, dass sie einerseits durch Einstülpungen von koronal her entstehen, andererseits es auch möglich sei, dass die Schmelzbecher ähnlich wie die Schmelzfalten als seitliche Einstülpungen von Schmelz und Zementbildnern mit nachheriger Abschnürung von der Seitenfläche entstehen. In der eigenen Arbeit zeigt ein mesialer Schmelzbecher des P<sub>2</sub> vom Oberkiefer des 2-jährigen Pferdes eine Verbindung zwischen dem peripheren und dem infundibulären Zement. Auch die häufig beobachtete Verbindung der Kunde des I<sub>3</sub> zur Lingualfläche ist ein Hinweis dafür, dass die Schmelzbecher nicht nur durch Einstülpung von der Kaufläche, sondern auch von der Seite her entstehen können. In der Literatur wurde bei der Entstehung der Schmelzbecher der Backenzähne des Oberkiefers der Schwerpunkt auf eine Einstülpung von Seiten der Kaufläche gelegt (Fitzgibbon et al., 2010, Suske et al., 2016a).

Neben den von Zahnhartsubstanz gebildeten Strukturen im Zahn waren auch die umliegenden Strukturen von Interesse.

Das Periodontium bildet einen Teil des Zahnhalteapparates. Die beiden Hauptfunktionen sind die starke und doch dynamische Verankerung des Zahnes in seiner Alveole und die Aufnahme der Kaukräfte (Schrock et al., 2013b, Mitchell et al., 2003, Staszyk und Gasse, 2005b). Weiter ist eine genügende Blutgefässversorgung des Periodontium und seiner Umgebung nötig.

Zur Ausdehnung des Periodontium wurde in der vorliegenden Arbeit wiederholt eine Dicke um 500 µm gemessen. Die darin schräg liegenden gegen apikal gerichteten Fasern (Sharpey Fasern) waren in der Nähe des Übergangs der Krone in die klinische Wurzel zu finden. Überwiegend sah man sehr viele zirkulär verlaufende Fasern in dem zellreichen Periodontium.

Nach Wulff (2005) zeigt das faserreiche Bindegewebe des Periodontium eine hohe Dichte an Bindegewebszellen, was als Zeichen eines hohen Stoffumsatzes gewertet werden kann.

Staszyk et al. (2006) studierten die Anordnung und Dichte der Faserbündel im Periodontium von verschiedenen Altersgruppen im gingivalen, mittleren und apikalen Bereich des Periodontium mit 1-5, 6-15 und über 15 Jahren. Die Faseranordnungen waren im gingivalen Teil in allen drei Altersgruppen gleich. Es konnten dabei zehn verschiedene Verlaufsrichtungen der Fasern nachgewiesen werden. Im mittleren und apikalen Teil des Periodontium wurde gesehen, dass der Kollagenfaserapparat bei den 1-5-jährigen Pferden ein lockeres Arrangement aufwies. Mit zunehmendem Alter wurde die Anzahl der Fasern grösser und sie bildeten häufiger dichte Faserbündel. Die in den eigenen Untersuchungen überwiegend zirkulär verlaufenden Fasern dürften über die ganze Länge des Zahnes auch wesentlich zum Halt des Zahnes in der Umgebung beitragen.



Der an das Periodontium angrenzende Alveolarknochen bestand vorwiegend aus nur 200 µm dünnen Knochenbälkchen. Sie hatten unregelmässige Abstände. Beim 5-Jährigen waren sogar um 50 µm dünne Knochenbälkchen sichtbar. Diese Tatsache weist darauf hin, dass eine Lamina dura, wie sie in der Literatur beschrieben ist, in dieser Arbeit nicht nachgewiesen werden konnte.

Baker and Easley (2007) definierten die Lamina dura als «radiologische Bezeichnung» für die Knochenstruktur, die dem Zahn benachbart ist, und den dichten Alveolarknochen, der die Reservekronen und die Wurzeln umgibt. Für Vogt (2011) und Klugh (2005) erschien die Lamina dura röntgenologisch als dichte Linie des Alveolarknochens, welcher auch als Lamina cribriformis bezeichnet werden kann. Baker wies in früheren Jahren darauf hin, dass die Lamina dura röntgenologisch als weisse Linie erscheint, welche ein Zwischenstück vom Periodontium und dem Alveolarknochen bildete (Baker 1971).

Apikal konnte in dieser Arbeit nur vereinzelt eine Verdichtung des spongiösen Knochens gesehen werden. Da bei der starken Krümmung der Zähne zwischen Seiten- und Kontaktflächen sich mehrere der dünnen Zahnbälkchen übereinander projizieren können, kann bei konventioneller Radiologie, bzw. grösseren Abständen im Computertomografen (z.B. 3 mm), eine Lamina dura vorgetäuscht werden. So ist nach Ohlerth (2020) bei heutigen Abständen von 1.5 mm beim Computertomografen eine Lamina dura in der Regel auch nicht sichtbar.

In der vorliegenden Arbeit konnten die wichtigen Nerven wie der N. mandibularis und N. infraorbitalis in ihren Kanälen und die Ausdehnung der Kieferhöhle samt ihrer Schleimhaut dargestellt werden.

Zur heute häufig vorkommenden EOTRH (Equine odontoclastic tooth resorption and hypercementosis) (Staszyk, 2008 und Schröder, 2015) sollte noch ein Beispiel des 13-jährigen Pferdes (Abb. 66-67) angefügt werden. Im Unterschied zu den meisten Pferden mit EOTRH, welches meist auch den intraalveolären Teil des Zahnes durch Abbau und Zubildung betrifft, wies das eigene Beispiel nur Veränderungen mit starker Zementzubildung im Kronenbereich des I<sub>3</sub> (103) vom rechten Oberkiefer auf.

Auf die Besprechung weiterer Pathologien der Zähne und ihrer Umgebung wurde ansonsten überwiegend verzichtet.

### **8.3. Konklusion**

Mit der angewandten Hartschnitttechnik konnten in dieser Arbeit an unentkalkten Zähnen alle Strukturen ohne Substanzverlust dargestellt werden. Die grossen Übersichtspräparate ermöglichten auch bei starker Vergrösserung eine klare umfassende Beurteilung aller Feinstrukturen.

Wegen des erheblichen zeitlichen Aufwandes war es nicht möglich, alle Zähne der drei Altersstufen mit ihrer Umgebung darzustellen. Nebst der Darstellung der hier noch nicht untersuchten Zähne wäre es sinnvoll, auch ausgewählte Gebisse von Fohlen oder von alten Pferden mit der hier angewandten Hartschnitttechnik zu untersuchen. Die Normalbefunde der vorliegenden Arbeit können eine Hilfe zur Beurteilung der radiologischen, makroskopischen und mikroskopischen Befunde von pathologischen Veränderungen im Gebiss des Pferdes sein.

## 9. Literaturverzeichnis

- Baker, G.J. (1971): Some Aspects of Equine Dental Radiology. *Equine Vet. J.* **3** (2), pp. 46-51.
- Baker, G.J. (1974): Some Aspects of Equine Dental Decay. *Equine Vet. J.* **6** (3), pp. 127-130.
- Baker, G.J., Easley, J. (2005): *Equine dentistry*. 2.Auflage, Verlag Elsevier Saunders, Philadelphia.
- Baker, G.J., Easley, J. (2007): *Zahnheilkunde in der Pferdepraxis*. 2. Auflage, Verlag Elsevier, Urban und Fischer, München.
- Becker, E. (1945): Das Ergebnis von 3000 Zahnuntersuchungen bei Truppenpferden. *Zeitschrift für Vet. Kde.*
- Bernhards, J., Weitzel, B., Werner, M., Rimpler, M., Georgii, A. (1992): A new histological embedding method by low-temperature polymerisation of methyl-methacrylate allowing immuno-and enzyme histochemical studies on semi-thin sections of undecalcified bone marrow biopsies. *Histochemistry* **98** (3), pp. 145-154.
- Borkent, D., Reardon, R.J.M., McLachlan, G., Glendinning, L., Dixon, P.M. (2020a): A microbiome analysis of equine peripheral dental caries using next generation sequencing. *Equine Vet. J.* **52** (1), pp. 67-75.
- Borkent, D., Smith, S., Dixon, P.M. (2020b): A histological and ultrastructural study of equine peripheral caries. *Equine Vet. J.* **52** (1), pp. 104-111.
- Constantinescu, G.M., Schaller, O. (2018): *Illustrated Veterinary Anatomical Nomenclature*. 4. Auflage, S. 144-147, Verlag Thieme, Stuttgart.
- Cox, A., Dixon, P.M., Smith, S. (2012): Histopathological Lesions associated with equine periodontal disease. *Vet. J.* **194** (3), pp. 386-391.
- Dacre, I. (2006): Histological and ultrastructural anatomy of equine dentition. AAEP, Focus Meeting 2006, Indianapolis.
- Dacre, I., Kempson, S., Dixon, P.M. (2007): Equine idiopathic cheek teeth fractures. Part 1: Pathological studies on 35 fractured cheek teeth. *Equine Vet. J.* **39** (4), pp. 310-318.
- Dacre, I., Kempson, S., Dixon, P.M. (2008): Pathological studies of cheek teeth apical infections in the horse: 5. Aetiopathological findings in 57 apically infected maxillary cheek teeth and histological and ultrastructural findings. *Vet. J.* **178** (3), pp. 352-363.
- Dixon, P.M. (2007a): Kapitel: Zahnanatomie. In: Baker, G.J., und Easley, J.: *Zahnheilkunde in der Pferdepraxis*. 2. Auflage, S. 27-52, Verlag Elsevier, Urban und Fischer, München.
- Dixon, P.M., Barakzai, S.Z., Collins, N.M., Yates, J. (2007b): Equine idiopathic cheek teeth fractures: Part 3: A hospital-based survey of 68 referred horses (1999–2005). *Equine Vet. J.* **39** (4), pp. 327-332.
- Dixon, P.M., Du Toit, N., Staszky, C. (2013): A fresh look at the anatomy and physiology of equine mastication. *Vet. Clin. Equine* **29**, pp. 257-272.

- Dixon, P.M., Tremaine, W.H., Pickles, K., Kuhns, L., Hawe, C., Mc Cann, J., Mc Gorum, B., Railton, D.I., Brammer, S. (1999a): Equine Dental Disease Part 1: A long-term study of 400 cases : Disorders of incisor, canine and first premolar teeth. *Equine Vet. J.* **31** (5), pp. 369-377.
- Dixon, P.M., Tremaine, W.H., Pickles, K., Kuhns, L., Hawe, C., Mc Cann, J., Mc Gorum, B., Railton, D.I., Brammer, S. (1999b): Equine dental disease Part 2: a long-term study of 400 cases: disorders of development and eruption and variations in position of the cheek teeth. *Equine Vet. J.* **31** (6), pp. 519-528.
- Dixon, P.M., Tremaine, W.H., Pickles, K., Kuhns, L., Hawe, C., Mc Cann, J., Mc Gorum, B., Railton, D.I., Brammer, S. (2000a): Equine dental disease Part 3: a long-term study of 400 cases: disorders of wear, traumatic damage and idiopathic fractures, tumours and miscellaneous disorders of the cheek teeth. *Equine Vet. J.* **32** (1), pp. 9-18.
- Dixon, P.M., Tremaine, W.H., Pickles, K., Kuhns, L., Hawe, C., Mc Cann, J., Mc Gorum, B., Railton, D.I., Brammer, S. (2000b): Equine dental disease Part 4: a long-term study of 400 cases: apical infections of cheek teeth. *Equine Vet. J.* **32** (3), pp. 182-194.
- Drenckhahn D. und Fleischhauer K. (2008) Mundhöhle und Zähne in Benninghoff: Anatomie, Makroskopische Anatomie, Embryologie und Histologie des Menschen. Band I, 17. Auflage, S. 603-617, Verlag Elsevier, Urban und Fischer, München.
- Easley, J., Dixon, P., Schumacher, J. (2011): Equine dentistry. 3. Auflage, Verlag Saunders Ltd., Philadelphia.
- Ellenberger, W., Baum, H. (1943): Mundhöhle mit Zähnen und Schlundkopf. In Handbuch der vergleichenden Anatomie der Haustiere. 18. Auflage, pp. 369-394, Verlag Springer, Berlin, Heidelberg, New-York. Nachdruck Verlag Springer 1974.
- Englisch, L.M., Rott, P., Lüpke, M., Seifert, H., Staszky, C. (2018): Anatomy of equine incisors: Pulp horns and subocclusal dentine thickness. *Equine Vet. J.* **50** (6), pp. 854-860.
- Erridge, M.E., Cox, A.L., Dixon, P.M. (2012): A histological study of Peripheral Dental Caries of Equine Cheek Teeth. *Journal of Veterinary Dentistry* **29** (3), pp. 150-156.
- Fitzgibbon, C.M., Du Toit, N., Dixon, P.M. (2010): Anatomical studies of maxillary cheek teeth infundibula in clinically normal horses. *Equine Vet. J.* **42** (1), pp. 37-43.
- Floyd, M.R. (1991): The modified Triadan system: Nomenclature for veterinary dentistry. *J. Vet. Dent.* **8** (4), pp. 9-18.
- Geyer, H. (2013): Angewandte Anatomie der Zähne des Pferdes. Grundkurs zur Ausbildung zum Pferde Zahnmediziner GST, Bern.
- Grell, M., Maleh, S. (2010): Atlas der Zahnheilkunde beim Pferd: Befunde und Behandlung. Verlag Schattauer, Stuttgart.
- Habermehl, K.H. (1975): Altersbestimmung der Haus- und Labortiere. 2. Auflage, Verlag Paul Parey, Berlin, Hamburg.

Habermehl, K.H. (1987, 2004): Zähne und Gebiss. In: Nickel, R., Schummer, A., Seiferle, E.: Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. Band II, 7. Auflage, pp. 77-100; 9. Auflage, S. 79-102, Verlag Paul Parey, Berlin, Hamburg.

Joest, E. (1926): Verdauungswege (Mund- und Rachenhöhle mit Speicheldrüsen, Zähne, Speiseröhre, Vormagen der Wiederkäuer, Mägen, Darm). In: Handbuch der speziellen pathologischen Anatomie der Haustiere. 2. Auflage, Band 1, pp. 134-384, Verlag R. Schoetz, Berlin.

Kilic, S., Dixon, P.M., Kempson, S.A. (1997a): A light microscopic and ultrastructural examination of calcified dental tissues of horses: 1. The occlusal surface and enamel thickness. *Equine Vet. J.* **29** (3), pp. 190-197.

Kilic, S., Dixon, P.M., Kempson, S.A. (1997b): A light microscopic and ultrastructural examination of calcified dental tissues of horses: 2. Ultrastructural enamel findings. *Equine Vet. J.* **29** (3), pp. 198-205.

Kilic, S., Dixon, P.M., Kempson, S.A. (1997c): A light microscopic and ultrastructural examination of calcified dental tissues of horses: 3. Dentine. *Equine Vet J* **29** (3), pp. 206-212.

Kilic, S., Dixon, P.M., Kempson, S.A. (1997 d): A light microscopic and ultrastructural examination of calcified dental tissues of horses: 4. Cement and the amelocemental junction. *Equine Vet. J.* **29** (3), pp. 213-219.

Kirkland K.D., Baker, G.J., Manfra Marretta, S., Eurell, J.A., Losonsky, J.M. (1996): Effects of ageing on the endodontic system, reserve crown, and roots of equine mandibular cheek teeth. *Am J Vet Res* **57** (1), pp. 31-38.

Klugh D.O. (2005): Intraoral Radiology in Equine Dental Disease. *Clinical Techniques in Equine Practice* **4** (2), pp. 162-170.

König, H.E., Liebich, H.G. (2019): Anatomie der Haussäugetiere. Kapitel: Kopfdarm. 7. Auflage, S. 337-348, Verlag Thieme, Stuttgart.

Kressin, M., Brehm, R. (2019): Embryologie der Haustiere. Begründet von Bertram Schnorr. Kapitel: Entwicklung der Zähne. 7. Auflage, pp. 211-214, Verlag Thieme, Stuttgart.

Larsson, S.A. (1975): A new method for the embedding of small animals and organs in plastic. *Acta path. microbiol. scand. Sect. A*, **83**, pp. 77-79.

Liuti, T., Reardon, R., Dixon, P.M. (2017): Computed tomographic assessment of equine maxillary cheek teeth anatomical relationships, and paranasal sinus volumes. *Vet. Record*, pp. 1-7.

Liuti, T., Smith, S., Dixon, P.M. (2018a): A Comparison of Computed Tomographic, Radiographic, Gross and Histological, Dental, and Alveolar Findings in 30 Abnormal Cheek Teeth from Equine Cadavers. *Front. Vet. Sci.* **4**:236.

Liuti, T., Smith, S., Dixon, P.M. (2018b): Radiographic, computed tomographic, gross pathological and histological findings with suspected apical infection in 32 equine maxillary cheek teeth (2012–2015). *Equine Vet. J.* **50** (1), pp. 41-47.



- Lorello, O., Foster, D.L., Levine, D.G., Boyle, A., Engiles, J., Orsini, J.A. (2016): Clinical treatment and prognosis of equine odontoclastic tooth resorption and hypercementosis. *Equine Vet. J.* **48** (2), pp. 188-194.
- Masset, A., Staszyk, C., Gasse, H. (2006a): The blood vessel system in the periodontal ligament of the equine cheek teeth – Part I: The spatial arrangement in layers. *Annals of Anatomy* **188** (6), pp. 529-533.
- Masset, A., Staszyk, C., Gasse, H. (2006b): The blood vessel system in the periodontal ligament of the equine cheek teeth – Part II: The micro-architecture and its functional implications in a constantly remodeling system. *Annals of Anatomy* **188** (6), pp. 535-539.
- Michel, G. (1977): *Kompndium der Embryologie der Haustiere*. pp. 172-177, 2. Auflage, Verlag Gustav Fischer, Jena.
- Mitchell, S.R., Kempson, S.A., Dixon, P.M. (2003): Structure of Peripheral Cementum of Normal Equine Cheek Teeth. *Journal of Veterinary Dentistry* **20** (4), pp. 199-208.
- Müller, U.A. (1984): *Das Pferd in der Schweiz: Von der Prähistorie bis zum ausgehenden Mittelalter*, Diss. phil. I, Zürich.
- Muylle, S., Simoens, P., Lauwers, H. (1996): Ageing horses by an examination of their incisor teeth: an (im)possible task? *Vet. Record* **138**, pp. 295-301.
- Muylle, S., Simoens, P., Lauwers, H., Van Loon, G. (1997): Ageing draft and trotter horses by their dentition. *Vet. Record* **141**, pp. 17-20.
- Muylle, S., Simoens, P., Verbeeck, R., Ysebaert, M.T., Lauwers, H. (1999): Dental wear in horses in relation to the microhardness of enamel and dentine. *Vet. Record* **144**, pp. 558-561.
- Ohlerth, S. (2020): persönliche Mitteilung von Stefanie Ohlerth, Prof. Dr. med. vet., Dipl. ECVDI, Oberärztin, stellvertretende Direktorin der Klinik für Bildgebende Diagnostik, Tierspital Zürich
- Orban, B.J. (1944): *Oral Histology and Embryology*. Mosby Verlag, Missouri.
- Neuste, überarbeitete Version von Kumar, G.S., (2015): *Orban's Oral Histology and Embryology*. 15. Auflage, RELX India Pvt. Ltd., New Delhi.
- Pearce, C. (2015): The equine infundibulum and infundibular disease: background, review and techniques. *Livestock* **20** (1), pp. 46-51.
- Pollaris, E., Vlamincx, L. (2015): Equine dentistry in the 21<sup>st</sup> century, part 1. Dental pathology in the horse. *Vlaams Diergeneeskundig Tijdschrift* **84**, pp. 223-231.
- Pollaris, E., Van der Vekens, E., Gielen, I., Crijns, C.P., Vlamincx, L. (2016): Equine dentistry in the 21st century Part 2: dental examination of the horse's mouth and diagnostic techniques for detection of dental disease. *Vlaams Diergeneeskundig Tijdschrift* **85**, pp. 225-236.
- Possmann-Dias, D. (2005): *Die Altersschätzung des Pferdes auf Grund morphologischer Veränderungen an den Zähnen*. Diss. med. vet., S. 19, München.
- Rüsse, I., Sinowatz, F. (1991): *Lehrbuch der Embryologie der Haustiere*. pp. 346-349, Verlag Paul Parey, Berlin, Hamburg.

Salomon, F.V., Geyer, H., Gille, U. (2015): Anatomie für die Tiermedizin. pp. 265-277, 3. Auflage, Verlag Enke, Stuttgart.

Schnorr, B., Kressin, M. (2006): Embryologie der Haustiere. 5. Auflage, Verlag Enke, Stuttgart.

Schrock, P., Lübke, M., Seifert, H., Staszky, C. (2013a): Three-dimensional anatomy of equine incisors: tooth lengths, enamel cover and age-related changes. BMC veterinary research 9:249.

Schrock, P., Lüpke, M., Seifert, H., Borchers, L., Staszky, C. (2013b): Finite element analysis of equine incisor teeth. Part 1: Determination of the material parameters of the periodontal ligament. Vet. J. **198** (3), pp. 583-589.

Schrock, P., Lüpke, M., Seifert, H., Staszky, C. (2013c): Finite element analysis of equine incisor teeth. Part 2: Investigation of stresses and strain energy densities in the periodontal ligament and surrounding bone during tooth movement. Vet. J. **198** (3), pp. 590-598.

Schröder, W. (2015): EOTRH - Hilfestellung zur Diagnostik und Therapie. Pferdespiegel **18** (03), pp. 108-116.

Simhofer, H., Griss, R., Zetner, K. (2008a): The use of oral endoscopy for detection of cheek teeth abnormalities in 300 horses. Vet. J. **178** (3), pp. 396-404.

Simhofer, H., Stoian, C., Zetner, K. (2008b): A long-term study of apicoectomy and endodontic treatment of apically infected cheek teeth in 12 horses. Vet. J. **178** (3), pp. 411-418.

Soana, S., Gnudi, G., Bertoni, G. (1999): The Teeth of the Horse: Evolution and Anatomico-Morphological and Radiographic Study of Their Development in the Foetus. Anatomia Histologia Embryologia **28** (5-6), pp. 273-280.

Staszky C., Düsterdieck, K.F., Gasse, H. (2005a): Immunohistochemical Identification of Lymphatic Vessels in the Periodontium of Equine Cheek Teeth. JOVD **22** (4), pp. 227-232.

Staszky, C., Gasse, H. (2005b): Distinct Fibro-Wascular Arrangements in the Periodontal Ligament of the Horse. Archives of oral biology **50** (4), pp. 439-447.

Staszky, C., Wulff, W., Jacob, H.G., Gasse, H. (2006): Collagen Fiber Architecture of Periodontal Ligament in Equine Cheek Teeth. JOVD **23** (3), pp. 143-147.

Staszky, C., Bienert, A., Kreutzer, R., Wohlsein, P., Simhofer, H. (2008): Equine Odontoclastic Tooth Resorption and Hypercementosis. VET. J **178** (3), pp. 372-379.

Staszky, C. (2011): Kapitel: Anatomie. In: Vogt, C.: Lehrbuch der Zahnheilkunde beim Pferd. S. 1-30, Verlag Schattauer, Stuttgart.

Staszky, C., Suske, A., Pöschke, A. (2015): Equine dental and periodontal anatomy: A tutorial review. Equine Vet. Educ. **27** (9), pp. 474-481.

Suske, A., Pöschke, A., Schrock, P., Kirschner, S., Brockmann, M., Staszky, C. (2016a): Infundibula of equine maxillary cheek teeth. Part 1: Development, blood supply and infundibular cementogenesis. Vet. J. **209**, pp. 57-65.

- Suske, A., Pöschke, A., Müller, P., Wöber, S., Staszyk, C. (2016b): Infundibula of equine maxillary cheek teeth. Part 2: Morphological variations and pathological changes. *Vet. J.* **209**, pp. 66-73.
- Ten Cate, A.R. (1980): Oral histology. Neuste, überarbeitete Version von Nanci, A. (2018): Ten Cate's Oral Histology. 9. Auflage, Verlag Elsevier, Missouri.
- Triadan, H. (1972): Tierzahnheilkunde: Zahnerhaltung (Füllungstherapie mit 'Composite materials' und Endodontie) bei Affen und Raubtieren. *Schweiz. Arch. Tierh.* **114** (6), pp. 229-316.
- Vogt, C. (2011): Lehrbuch der Zahnheilkunde beim Pferd. Verlag Schattauer, Stuttgart.
- Warshawsky, H. (1989): Organization of crystals in enamel. *Anat. Rec.* **224**, pp. 242-262.
- Windley, Z., Weller, R., Tremaine, W.H., Perkins, J.D. (2009a): Two- and three-dimensional computed tomographic anatomy of the enamel, infundibulae and pulp of 126 equine cheek teeth. Part 1: Findings in teeth without macroscopic occlusal or computed tomographic lesions. *Equine Vet. J.* **41** (5), pp. 433-440.
- Windley, Z., Weller, R., Tremaine, W.H., Perkins, J.D. (2009b): Two- and three-dimensional computed tomographic anatomy of the enamel, infundibulae and pulp of 126 equine cheek teeth. Part 2: Findings in teeth with macroscopic occlusal or computed tomographic lesions. *Equine Vet. J.* **41** (5), pp. 441-447.
- Wissdorf, H., Bartmann, C.P., Staszyk, C., Otto, B., Gerhards, H. (2010): Kapitel: Zähne und ihr Halteapparat. In: Wissdorf, H., Gerhards, H., Huskamp, H., Deegen, E.: *Praxisorientierte Anatomie und Propädeutik des Pferdes*. 3. Auflage, pp. 156- 189, Verlag M. & H. Schaber, Hannover.
- Wulf, M. (1939): Über die Notwendigkeit regelmässiger Zahnuntersuchungen bei Truppenpferden. *Zeitschrift für Vet. Kde.*
- Wulff, W. (2005): Histologische Untersuchungen am Ligamentum periodontale des Pferdebackenzahns. *Diss. med. vet.*, Hannover.
- Zietschmann, O., Krölling, O. (1955): Lehrbuch der Entwicklungsgeschichte der Haustiere. 2. Auflage, Kapitel Zähne, pp. 421-431. Verlag Paul Parey, Berlin, Hamburg.

## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all diesen Personen bedanken, die mich in dieser langen Zeit immer unterstützt und motiviert haben:

- Prof. Dr. Anton Fürst für die grosszügige Unterstützung dieser Arbeit und die Übernahme des Referates.
- Prof. em. Dr. Hans Geyer, der nie aufgehört hat an mich und meine Dissertation zu glauben.
- Dr. med. vet. Michelle Jackson für die tatkräftige Unterstützung.
- Prof. em. Dr. Alois Boos für die Arbeitsmöglichkeit im Veterinär-Anatomischen Institut und die allzeit gewährte Unterstützung dieser Arbeit.
- Katharina Kämpf-Reusser für das Einbetten der Proben.
- Elisabeth Högger «Sissi» und Aymone Lenisa für die Hilfe bei der histologischen Präparation.
- Michelle Aimée Oesch für das Erstellen der Übersichtsaufnahmen.
- Jeanne Peter und Pascal Glatzfelder für das Erstellen der detaillierten Grafiken.
- Meinen Eltern und meinem Mann für ihre tatkräftige, unermüdliche und moralische Unterstützung.
- Und allen meinen Freunden, die mich bei den zahlreichen Anläufen zur Vollendung der Dissertation motiviert und begleitet haben.

## Curriculum vitae

Vorname Name	Eliana Zoller
Geburtsdatum	29.11.1984
Geburtsort	Basel
Nationalität	Schweizerin
Heimatort	Glarus Süd
Aug. 1991 – Juli 1996	Primarschule Dornach, SO
Aug. 1996 – Juli 2000	Progymnasium Reinach, BL
Aug. 2000 - Dez. 2003	Gymnasium Münchenstein BL
Dez. 2003	Matura, Gymnasium Münchenstein, BL
Sept. 2005 - Okt 2011	Masterstudium in Veterinärmedizin, Vetsuisse-Fakultät der Universität Zürich
Okt. 2011	Staatsexamen in Veterinärmedizin, Schwerpunkt Pferde, Vetsuisse-Fakultät der Universität Zürich
Nov. 2011 – April 2020	Anfertigung der Dissertation unter Leitung von Prof. Dr. med. vet. Anton Fürst am Departement für Pferde, Klinik für Pferdechirurgie der Vetsuisse-Fakultät der Universität Zürich Direktor: Prof. Dr. med. vet. Anton Fürst
Jan. 2012 – Aug. 2012	Assistentin in der Grosstierklinik Leimental, Biel-Benken, BL
Sept. 2012 – Mai 2014	Assistentin in der Grosstierpraxis Moor AG, Tann, ZH
Juli 2014 – März 2018	Assistentin in der Pferdepraxis Luder & Partner AG, Oberwil, BL
Seit Juni 2018	Assistentin in der Grosstierpraxis Moor AG, Tann, ZH